

Universidad Pública de Navarra

ESCUELA TECNICA SUPERIOR

DE INGENIEROS AGRONOMOS

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN*

*GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

# *Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes*

presentado por

Francisco Javier Santafé Sanz

*aurkeztua*

MÁSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN

*MASTERRA INFORMAZIO SISTEMA GEOGRAFIKOETAN ETA TELEDETEKZIOAN*

Septiembre, 2017 / 2017ko, Irailak

## **Resumen**

En este trabajo se intenta definir una metodología que nos permita a partir de imágenes RGB y multiespectrales de alta resolución hacer un seguimiento y control del aporte de fertilizantes al cultivo, teniendo en consideración el aporte hídrico y las temperaturas. Las imágenes han sido tomadas mediante un UAV. Se hicieron una serie de vuelos en distintas fechas del ciclo vegetativo del maíz, se obtuvieron sus correspondientes MDS (modelos digitales de superficie), mapas de reflectancia en el verde (G), rojo (R), red edge (RE) e infrarrojo cercano (NIR), y distintos índices de vegetación derivados de esas zonas del espectro.

Se extrajo únicamente información de la zona definida por las alineaciones de los maíces y 20 cm a cada lado para evitar la contaminación de píxeles correspondientes al suelo, posteriormente se representó gráficamente las medias de los valores de los MDS, la reflectancia para las cuatro longitudes de onda, y los índices anteriormente mencionados para los distintos vuelos realizados. Se pretendía establecer una relación entre el comportamiento de esas gráficas y el aporte de nitratos a la parcela.

Los índices que mejor representan la variación de la respuesta del cultivo en función del aporte de Nitrato son el TCARI/OSAVI y el MCARI. Respecto a los modelos digitales de superficie obtenidos, no se observa ningún cambio significativo de la altura media antes y después del aporte de nitratos.

## **Palabras clave**

Índices, Nitrógeno, Cultivo, UAV

## **Abstract**

In this work we try to define a methodology that allows us to monitor and control the contribution of fertilizers to the crop, from RGB and high resolution multispectral images taking into consideration the hydric supply and temperatures. The images have been taken by a UAV. A series of flights were made at different dates in the maize vegetative cycle, at that time, their corresponding MDS (digital surface models), reflectance maps in green (G), red (R), red edge (RE) and near infrared (NIR) were obtained, and different vegetation indexes from those areas of the spectrum.

Only information was extracted from the area defined by the maize alignments and 20 cm on each side to avoid contamination of pixels corresponding to the ground. Later, the mean values of the MDS values, the reflectance at the four wavelengths, and the above-mentioned indices for the different flights were plotted graphically. It was intended to establish a relationship between the behavior of these graphs and the contribution of nitrates to the plot.

The indices that best represent the variation of the response of the crop in function of the contribution of Nitrate are the TCARI / OSAVI and the MCARI. Regarding the digital surface models obtained, no significant change in mean height before and after nitrate intake is observed.

## **Keywords**

Indices, Nitrogen, Crop, UAV

ÍNDICE:

<b>1- Introducción.....</b>	<b>8</b>
1.1 Los UAVs en la agricultura de precisión .....	8
1.2 Respuesta espectral de la vegetación .....	11
1.3 Índices de vegetación .....	13
1.4 El Nitrógeno en los cultivos .....	17
1.4.1 Determinación del N en el cultivo .....	19
1.5 Estudios sobre el Nitrato en los cultivo .....	23
1.6 Antecedentes .....	27
<b>2- Objetivos.....</b>	<b>33</b>
<b>3- Materiales y métodos.....</b>	<b>34</b>
3.1 Área de estudio .....	34
3.2 Características del cultivo.....	35
3.3 Material utilizado .....	36
3.4 Metodología .....	42
3.4.1 Señalización y observación puntos de apoyo.....	43
3.4.2 Planificación y vuelo .....	45
3.4.2.1 Planificación de los vuelos.....	45
3.4.2 Ejecución de los vuelos.....	48
3.4.3 Pre-procesado de datos .....	49
3.4.3.1 Pre-procesado imágenes RGB .....	50
3.4.3.2 Pre-procesado imágenes multiespectrales .....	51
3.4.4 Procesado de datos y obtención productos finales .....	52
3.4.4.1 Procesado imágenes RGB.....	52
3.4.4.2 Procesado imágenes multiespectrales.....	56
3.4.5 Extracción información de modelos digitales e índices de vegetación.....	58
<b>4- Resultados y discusiones .....</b>	<b>61</b>
<b>5- Conclusiones .....</b>	<b>66</b>
<b>6- Bibliografía.....</b>	<b>68</b>
<b>7-Referencias .....</b>	<b>73</b>
<b>8 -ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Crecimiento de la población mundial.....	8
Figura 2: Espectro Electromagnético .....	11
Figura 3: Firmas espectrales típicas para vegetación, suelo y agua en el rango visible.....	12
Figura 4: Comportamiento típico de una cubierta vegetal sana. (Chuvieco, 2008).....	12
Figura 5: Reflectancia espectral del maíz bajo diferentes condiciones .....	13
Figura 6: Medidor de clorofila (CM) .....	20
Figura 7: Sensor activo GreenSeeker .....	20
Figura 8: Sensor activo Crop Circle ACS-470.....	20
Figura 9: Sensor SPAD-502 .....	21
Figura 10: Ciras-1 (izqda) y Photosynthesis Yield Analyzer Mini-Pam(dcha) .....	21
Figura 11: SunScan Canopy Analysis(izqda.) y DualexScientific (dcha.) .....	21
Figura 12: Planos de localización de la parcela de Fnes.....	28
Figura 13: Áreas de experimentación .....	28
Figura 14: Parcelas y tratamientos.....	29
Figura 15: Índices de vegetación .....	30
Figura 16: Gráficos índices de vegetación .....	31
Figura 17: Zona de estudio .....	34
Figura 18: Área de ensayos .....	35
Figura 19: Phantom 3 Professional de fábrica (Izqda.) y con el sensor Parrot Sequoia (Dcha.).....	36
Figura 20: Detalles del montaje del sensor Sequoia y el sensor de luz (Dcha.) en el Phantom 3.....	36
Figura 21: Sensor Parrot Sequoia (Parrot Sequoia, 2017).....	38
Figura 22: Campos de visión horizontal, vertical y de pantalla.....	38
Figura 23: Receptor GPS Hiper V de Topcon (Topcon, 2017).....	39
Figura 24: UGCS, software de planificación de vuelo.....	40
Figura 25: MAGNET Field, software de campo para Topcon .....	40
Figura 26: PYTHON, software de programación.....	40
Figura 27: ExifToolGui, software de acceso metadatos .....	41
Figura 28: AutoCAD, software de diseño gráfico .....	41
Figura 29: TpcMDT, software de diseño gráfico.....	41
Figura 30: Pix4d, software de procesamiento imágenes.....	41
Figura 31: PhotoScan, software de procesamiento imágenes .....	42
Figura 32: QGIS, sistema de información geográfica.....	42
Figura 33: ENVI, procesamiento y análisis de imágenes .....	42
Figura 34: Microsoft Office, paquete informático de oficina.....	42
Figura 35: Ubicación de los puntos de apoyo en la parcela .....	44
Figura 36: Dianas de puntería, diseño y colocación.....	44
Figura 37: Imagen de las dianas a 24 mt sobre el suelo (Izqda.), 40 mt (Centro) y 80 mt (Dcha.) .....	44
Figura 38: Imagen de las dianas a 24 mt sobre el suelo (Izqda.), 40 mt (Centro) y 80 mt (Dcha.) .....	45
Figura 39: Gráfico toma fotogramétrica.....	45
Figura 40: Gráfico recubrimiento transversal y longitudinal .....	46
Figura 41: Gráfico recubrimiento transversal y longitudinal .....	46
Figura 42: Selección y modificación de coordenadas de los vértices .....	46
Figura 43: Parámetros configurables para la planificación del vuelo .....	47
Figura 44: Modificación del trazado en función del GSD (Dcha. GSD = 3 cm, Izqda. GSD = 5 cm) .....	47
Figura 45: Página principal de la cámara Parrot Sequoia (Sequoia, 2017).....	48

Figura 46: Tarjeta de calibración de Airinov.....	48
Figura 47: Selección del modo de captura .....	49
Figura 48: Entrada de carpeta de los videos donde extraer las imágenes.....	50
Figura 49: Definición de parámetros de extracción de imágenes.....	51
Figura 50: Entrada de carpeta para limpiar imágenes .....	52
Figura 51: Distribución de las imágenes para uno de los vuelos realizados (Izqda.) y posición de las imágenes, con el número de punto, la altura respecto al nivel del mar y la diferencia de tiempo con la anterior imagen (Dcha.) .....	52
Figura 52: Levantamiento de la zona de estudio mediante el GPS Hiper V de Topcon .....	54
Figura 53: Ortomosaico y modelo digital de superficie (dos imágenes izqda.), detalle modelo digital (dcha.) del vuelo con dirección Norte-Sur.....	54
Figura 54: Ortomosaico y modelo digital de superficie (dos imágenes izqda.), leyenda modelo digital (dcha.) del vuelo con dirección Norte-Sur.....	55
Figura 55: Curvados levantamiento obtenido PhotoScan (Izqda.) y con Pix4d (Dcha.).....	55
Figura 56: MDS parcela recién plantada (izqda.) y en avanzado desarrollo (dcha.) .....	56
Figura 57: Índices GNDVI, parcela recién plantada (izqda.) y en avanzado desarrollo (dcha.).....	57
Figura 58: Definición de las alineaciones de maíz, sobre la orto del 01-08-17 .....	58
Figura 59: Definición de buffer a 20 cm de las alineaciones de maíz .....	58
Figura 60: Superposición de los buffers según la alineación del maíz (magenta) y el definido entre el espacio intermedio (verde) .....	59
Figura 61: Ortomosaico de la parcela (izqda.) y superpuesto con el buffer definido a 20 cm a ambos lados de las alineaciones de maíz.....	59
Figura 62: Grafico del modelador utilizado para recortar las imágenes según el buffer.....	60
Figura 63: Estado del maíz 12 Agosto 2017 (Izqda.) y el 23 Agosto 2017 (Dcha.) .....	61
Figura 64: Reflectancia en el NIR, Red Edge y verde. ....	62
Figura 65: Gráfico de las medias por día del NDVI.....	62
Figura 66: Gráfico de las medias por día del GVI .....	62
Figura 67: Gráfico de las medias para los SAVI, con valores de densidad de vegetación baja (arriba), densidad media (centro) y densidad alta (abajo).....	63
Figura 68: Gráfico de las medias para el REDVI.....	63
Figura 69: Gráfico de las medias para el MRESAVI.....	64
Figura 70: Gráfico de las medias para el MRESAVI.....	64
Figura 71: Gráfico de las medias para el MRESAVI.....	64
Figura 72: Imágenes en distintas etapas del ciclo fenológico del maíz, 29 de Agosto (izqda.), 5 de Sept (centro), y 11 de Sept (dos de la dcha.).....	65

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Índices de vegetación, pNIR y pR es la reflectancia en las bandas específicas (RVI, NDVI y SAVI) .....	14
Tabla 2: Índices de vegetación (PRI y ARVI) .....	14
Tabla 3: Índices de vegetación (TSAVI, MSAVI y OSAVI) .....	14
Tabla 4: Índices de vegetación (GNDVI, GARI y GRARI), $\lambda$ es un parámetro que controla la corrección atmosférica, y $\eta$ es un parámetro que refleja la reflectancia entre el rojo y el verde.....	15
Tabla 5: Índices de vegetación (MCARI, TVI, NDNI, TCARI, TCARI/OSAVI, CI, MTVI y MTVI2) .....	16
Tabla 6: Índices de vegetación (NDRE, MTCI, RECI, CCCI, NDPI, RESAVI, MRESAVI, REDVI, RERDVI y DCNI) .....	17
Tabla 7: Índices de vegetación (Cilia et al., 2014) .....	25
Tabla 8: Índices de vegetación (SAVI1510, NDVI/SAVI1510) .....	26
Tabla 9: Índices de vegetación (Wang & Wei, 2016).....	26
Tabla 10: Tratamiento individual por parcela .....	29
Tabla 11: Medias de índices de vegetación por parcela .....	31
Tabla 12: Cuadro de riego y fertilizantes.....	35
Tabla 13: Tabla con número, fecha, tipos y altura de vuelo .....	49
Tabla 14: Tabla para cálculo de parámetros de vuelo, sensor RGB .....	50
Tabla 15: Tabla para cálculo de parámetros de vuelo, sensor multiespectral.....	51
Tabla 16: Residuos de los puntos de apoyo para el vuelo Norte-Sur calculado con Pix4d .....	53
Tabla 17: Residuos de los puntos de apoyo para el vuelo Norte-Sur calculado con PhotoScan .....	53
Tabla 18: Diferencias entre el levantamiento GPS y los obtenidos el 04-07-17 con Pix4d y PhotoScan .....	55
Tabla 19: Índices de vegetación calculados en este estudio.....	57
Tabla 20: Datos meteorológicos y fertilizante por día. Desviaciones típicas por índice de vegetación y día. <sup>1</sup> los datos están obtenidos de la vegetación existente entre las hileras de maíz. ....	61

## **ANEXOS**

ANEXO 1: Datos meteorológicos estación de Cadreita INTIA .....	75
ANEXO 2: Gráficos de las medias de los índices por día .....	78
ANEXO 3: Gráficos polígonos de frecuencias para los índices en distintas fechas .....	82

## 1- Introducción

En el presente trabajo se pretende establecer un procedimiento que a través de la utilización de imágenes RGB y multiespectrales de alta resolución nos permita diferenciar el contenido de fertilizante en los cultivos. Se pretende analizar el uso de imágenes multiespectrales para el cálculo de distintos índices de vegetación con el fin de establecer dichas relaciones, así como el procesamiento de imágenes RGB para la obtención de modelos digitales de superficie para relacionar la aportación de fertilizante con el desarrollo del cultivo.

El suministro de fertilizante es un factor importantísimo en la producción agrícola por ser un producto con un coste elevado, pero su aportación es necesaria para el mejor desarrollo de la planta, existiendo generalmente una relación directa entre su aporte y el resultado final en la cosecha. Por tanto se debe conseguir el equilibrio entre aporte de fertilizantes y producción, que se traduce en la rentabilidad de un determinado cultivo. Un aporte excesivo sería muy costoso y además no cumpliría con la Normativa sobre consumo de alimentos.

Además de analizar la relación entre el desarrollo del cultivo, los índices vegetales y la cantidad de fertilizante aportadas, se pretende analizar el efecto de otros parámetros como son el aporte hídrico, temperatura media. Estos parámetros se extraerán de las estaciones meteorológicas que están distribuidas por la zona de estudio, en concreto la de INTIA existente en Cadreita. Los datos son accesibles vía web del Gobierno de Navarra, <http://meteo.navarra.es/estaciones/estacion.cfm?IDEstacion=4>.

Finalmente, se van a utilizar herramientas de procesamiento de las imágenes para obtener las ortofotos, mapas de reflectancia, mapas de altimetría. Se pretende hacer uso de herramientas como Python, PIX4D, PhotoScan, ENVI, Autocad y QGIS.

### 1.1 Los UAVs en la agricultura de precisión

Según la Organización de Naciones Unidas (ONU) la población mundial pasará de los 7500 millones de personas en el 2017 a 9100 millones en el 2050. La agricultura se va a encontrar en una situación de mayor demanda de alimentos para abastecer a esta población así como un aumento de las necesidades de bioenergía. Este incremento en la producción agrícola supondría un aumento no solo de la superficie de zonas cultivables sino también del rendimiento de las existentes actualmente (FAO, 2009).

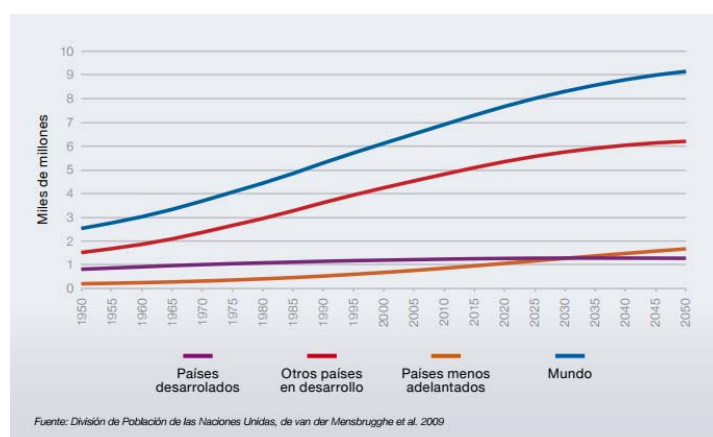


Figura 1: Crecimiento de la población mundial



Este crecimiento no sería posible sin un uso sostenible de los recursos naturales, una mayor concienciación en el uso del agua de riego, productos químicos para tratamientos de los cultivos, combustibles, etc. Debiendo adoptarse por tanto métodos de producción más eficaces, consiguiendo más con menos, ya que la agricultura intensiva afecta negativamente al ecosistema de cada zona (Geiger et al., 2010).

Desde la Unión Europea se están tomando medidas para fomentar el uso de nuevas tecnologías en la agricultura que suponga un mejor conocimiento en las distintas faenas del campo, desde la preparación de la tierra para sembrar o plantar hasta su recogida, esto es lo que se conoce como agricultura de precisión (AP). Su apoyo se plasma en la financiación a través del programa Horizon2020 (Gago et al., 2015).

Una definición muy simple de la AP es que consiste en aplicar el tratamiento correcto en el lugar y momento oportuno. Integra un conjunto de tecnologías como pueden ser los sistemas de información geográfica, teledetección, sistemas de posicionamiento, sistemas de maquinaria automatizados, etc. (Gebbers & Viacheslav I Adamchuk, 2010)

La AP implica generalmente una mejor gestión de los insumos agrícolas tales como fertilizantes, herbicidas, gasóleo, etc. Nos facilitará un tratamiento diferenciado en distintas zonas de la parcela en función de las características del terreno y evolución del cultivo. Optimizando el uso de fertilizantes como el nitrógeno y fosforo, mitigando así el daño al entorno (J.Mulla, 2013).

En los últimos años las aplicaciones de los sensores remotos en la AP han evolucionado desde los simples sensores que determinaban la materia orgánica del suelo hasta sensores térmicos, multiespectrales, hiperespectrales (J.Mulla, 2013). Esta evolución ha afectado también a las dimensiones de los sensores, reduciendo su tamaño considerablemente pasando de plataformas relativamente grandes como los satélites, avionetas a otras más pequeñas como son los UAVs (Gago et al., 2015).

La baja disponibilidad de imágenes de alta resolución espacial y temporal ha facilitado la utilización de los UAVs permitiendo obtener imágenes de muy alta resolución (incluso del cm) respecto a otras plataformas como los satélites o avionetas cuyo control y planificación es menos accesible, aunque el coste es cada vez más barato e incluso gratuito (Zhang & Kovacs, 2012).

Los UAVs cuyo significado en inglés es Unmanned Aerial Vehicle (vehículos aéreos no tripulados) tiene otras ventajas respecto a otras plataformas además de una mayor resolución temporal y espacial, nos permite obtener información en lugares que de otra forma sería imposible, obtenerla en el momento deseado de tal forma que es posible actuar en tiempo real, por ejemplo en caso de desastres naturales. Estos dispositivos tienen otras desventajas como puede ser la escasa autonomía de vuelo, su limitada capacidad de carga y su alta dependencia a condiciones atmosféricas adversas. También es una limitación el peso del tipo de sensor o dispositivo (carga de pago), necesario para realizar el trabajo.

Dentro de las muchas aplicaciones de los UAVs podríamos destacar la obtención de imágenes de alta resolución para el seguimiento del desarrollo de los cultivos, requerimientos de agua, prevención de enfermedades y plagas de insectos (Ballesteros, Ortega, Hernández, &

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Moreno, 2014). Evaluación del impacto de los fertilizantes en el crecimiento de los cultivos, control del estrés, cartografiado del rendimiento, etc (Zhang & Kovacs, 2012).

Existen diferentes tipos de UAVs, los más habituales para uso civil son los de ala fija o los multirrotores. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas, se elegirá uno u otro en función del trabajo que vayan a desarrollar.

Los multirrotores pueden ser de tres, cuatro, seis u ocho motores. Despegue y aterrizaje vertical, tienen la posibilidad de volar a puntos determinados y mantenerse estático en el aire. Poseen una mayor maniobrabilidad pudiendo hacer giros en poco espacio. Puede transportar cualquier carga de pago siempre y cuando los motores tengan potencia suficiente, la autonomía de vuelo se reduce significativamente al aumentar la carga. Tienen las desventajas de una autonomía de vuelo relativamente baja, de unos 30 minutos, aunque se está trabajando por conseguir baterías con un mayor rendimiento, ya existen en el mercado baterías que te permiten llegar a la hora de vuelo. Son más sensibles a condiciones atmosféricas adversas (viento y agua), no es aconsejable utilizar con velocidades de viento por encima de 25-30 km/h, con vientos de ese nivel se reduce la duración de las baterías, es muy difícil respetar los solapes configurados en la planificación de vuelo e incluso está en riesgo la integridad del equipo.

Los UAVs de ala fija tienen una mayor autonomía de vuelo, son menos sensibles a condiciones atmosféricas adversas como el viento y el agua. Producen menos ruido por lo que son más aptos para labores de vigilancia. Al poseer mayor velocidad nos permiten cubrir más superficie, aunque por el contrario esto reduce su maniobrabilidad, necesitando giros muchísimo más amplios. La altitud de vuelo suele ser mayor que con los multirrotores por lo que se reduce la resolución espacial (Gago et al., 2015). Necesitan más superficie para aterrizar y despegar. Los tipos de sensor a transportar están condicionados por las dimensiones de la bodega.

También existen UAVs híbridos, que montan un sistema mixto con rotores y ala fija, que reúne las ventajas de los dos sistemas. Un drón de este tipo es desarrollado por la empresa FUVEX ubicada en Tudela (NA).

Los UAVs pueden transportar distintos tipos de sensores: cámaras fotográficas, de video, multiespectrales, térmicas, incluso dispositivos para fumigar y chalecos salvavidas.

El uso de los UAVs no sería posible sin la existencia de una normativa que regule su uso tanto comercial como civil garantizando la seguridad y privacidad de los ciudadanos. La Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) se encarga de la regulación de operaciones con drones de hasta 150 kg. Para drones por encima de este límite, se ha establecido una normativa a nivel europeo, y el organismo encargado de regular estas aeronaves es EASA (European Aviation Safety Agency). La normativa actualmente vigente fue aprobado por el Consejo de Ministros en julio del 2014, tramitada posteriormente como ley 18/2014 y recogida en el BOE del 17 de Octubre de 2014, Sección 6ª Aeronaves civiles pilotadas por control remoto, artículos 50 y 51 (AESA, 2017). Existe un borrador pendiente de aprobación que modificará esta normativa vigente, se supone que despejará ciertas dudas existentes acerca de sobrevolar núcleos urbanos o espacios con alta masificación de gente, realizar vuelos nocturnos o cerca de aeropuertos.

## 1.2 Respuesta espectral de la vegetación

El espectro electromagnético es la distribución del conjunto de ondas electromagnéticas conocidas, recoge la sucesión de los distintos valores de longitud de onda desde las longitudes de ondas más cortas (rayos gamma, rayos X), hasta longitudes de onda muy grandes usadas en telecomunicaciones (Chuvieco, 2008).

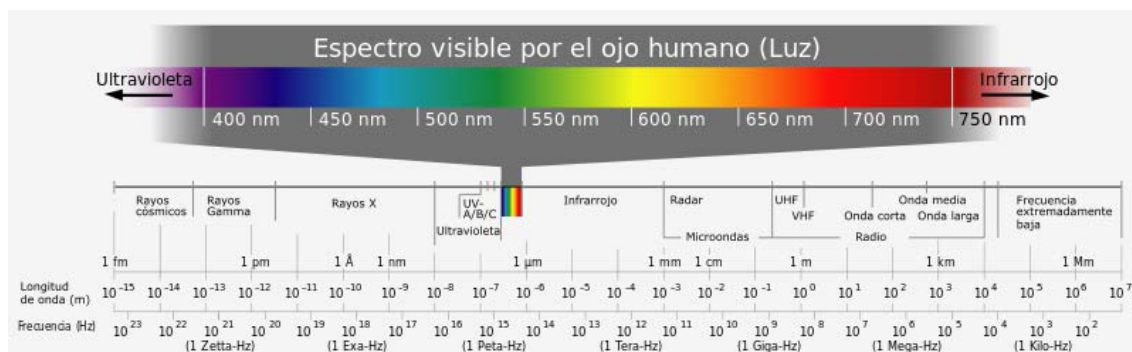


Figura 2: Espectro Electromagnético

Las bandas espectrales más utilizadas en teledetección son:

- Espectro visible con longitudes de onda entre 0.4 y 0.7  $\mu\text{m}$ , es la única radiación electromagnética que recoge el ojo humano. Dentro de este intervalo tenemos las bandas del azul (0.4 a 0.5  $\mu\text{m}$ ), el azul (0.5 a 0.6  $\mu\text{m}$ ) y rojo (0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ ).

- Infrarrojo próximo (NIR), entre 0.7 y 1.3  $\mu\text{m}$ . Muy útil para discriminar masas forestales y concentraciones de humedad.

- Infrarrojo medio (IRM), entre 1.3 y 8  $\mu\text{m}$ . SWIR: infrarrojo medio de onda corta desde 1.3 hasta 2.5  $\mu\text{m}$ . LWIR: infrarrojo medio de onda larga, a partir de 2.5  $\mu\text{m}$ .

- Infrarrojo lejano o térmico, entre 8 y 14  $\mu\text{m}$ .

- Microondas, a partir de 1 mm.

Es interesante conocer el comportamiento espectral de las distintas cubiertas para cada franja de longitudes de onda, ya que esas franjas con comportamiento distinto son las que nos permitirá analizar cada una de las cubiertas.

Como se observa en la figura 3 se recogen varias cubiertas con comportamiento distinto o parecida para cada longitud de onda. Por ejemplo en la zona del visible la respuesta espectral para el suelo y la vegetación enferma es muy parecida y por el contrario tienen respuestas distintas en el paso entre el SWIR y el LWIR. En la zona del NIR existe bastante diferencia entre las cubiertas de vegetación sana, enferma y agua.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Reflectancia (%)

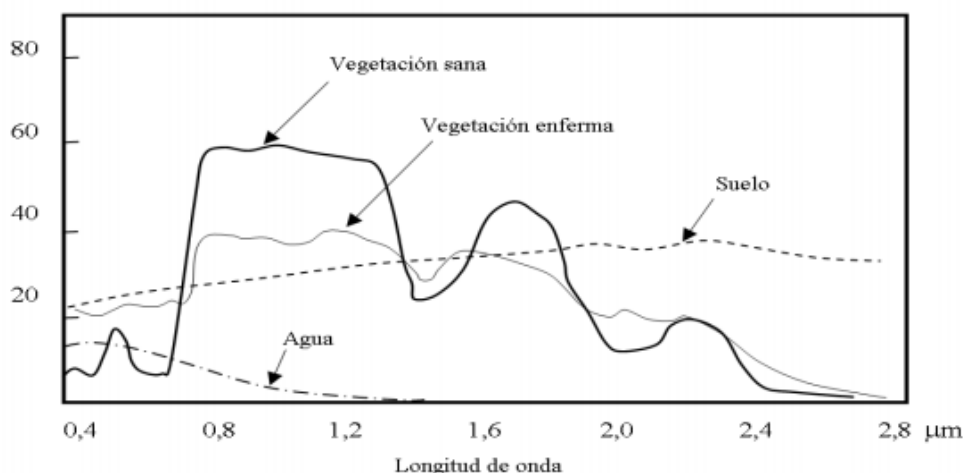


Figura 3: Firmas espectrales típicas para vegetación, suelo y agua en el rango visible e infrarrojo reflejado del espectro electromagnético (Hernández & Montaner, 2009).

Es muy interesante analizar el comportamiento espectral de la hoja, ya que aparece influenciado por múltiples factores como los tipos de pigmentos, estructura de las hojas y contenido de humedad, además de la pendiente, orientación, etc. Pero a nosotros nos interesa el comportamiento de la planta obviando otros parámetros externos a ella.

En la figura 4 se presenta la respuesta espectral de vegetación sana, tenemos tres zonas claramente diferenciadas, la zona del visible, NIR, e IRM. En el visible muestra una baja reflectividad, con un pico en la zona del verde (0,55  $\mu\text{m}$ ), siendo la reflectividad máxima en la zona del NIR. En la zona del IRM se muestran dos vaguadas y dos picos destacables. La baja reflectividad en la zona del visible es debido a la absorción de los pigmentos de la hoja (clorofila 65%, xantofilas 29%, y carotenos 6%). Todos los pigmentos absorben en torno a 0,45  $\mu\text{m}$  y la clorofila absorbe también en torno a los 0,65  $\mu\text{m}$  (Chuvieco, 2008).

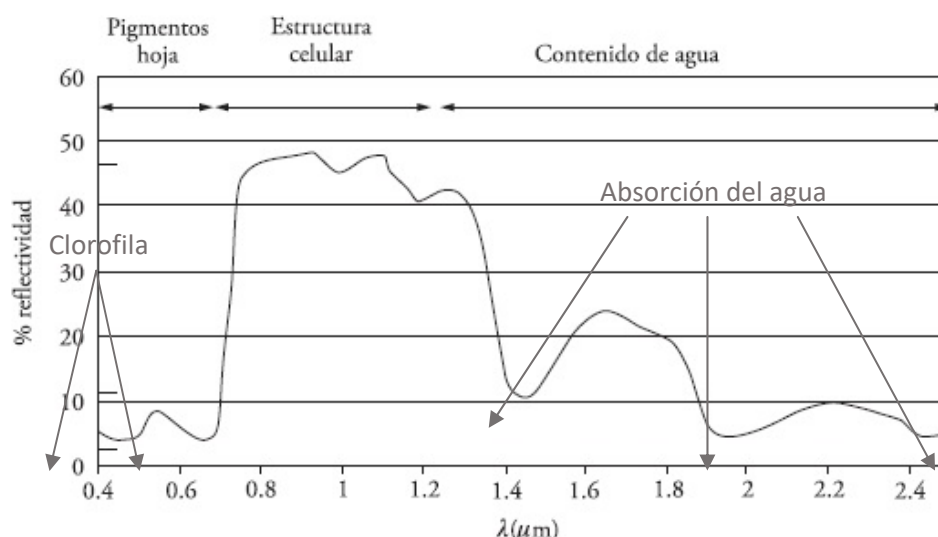


Figura 4: Comportamiento típico de una cubierta vegetal sana. (Chuvieco, 2008)

La alta reflectividad en el NIR se asocia a la estructura celular de la hoja (capa esponjosa del mesofilo). Esta zona resulta muy interesante para discriminar entre plantas.

En el IRM la absorción producida por el agua es muy clara, reduciéndose considerablemente la reflectividad de la vegetación sana en esta zona. En condiciones de hidratación normales los valles situados en torno al 1.4  $\mu\text{m}$  y 1.9  $\mu\text{m}$  son profundos y marcados (Hernández & Montaner, 2009).

Lo más destacable de la respuesta espectral de la vegetación es el contraste entre la zona del visible, sobre todo en la zona del azul (0.4-0.5  $\mu\text{m}$  y el rojo 0.6-0.7  $\mu\text{m}$ ), con respecto a la zona del NIR, siendo mayor esta diferencia cuanto mayor es el vigor de la vegetación. Cualquiera fuente que pueda afectar al desarrollo habitual de la planta se traducirá en una firma espectral distinta a la que anteriormente se ha descrito. De hecho cuando la planta está extremadamente seca su respuesta se aleja del prototipo asemejándose muchísimo a la respuesta asociada al suelo desnudo (Manivasagam & Nagarajan, 2015).

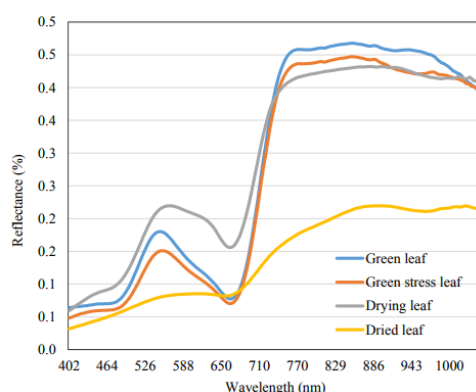


Figura 5: Reflectancia espectral del maíz bajo diferentes condiciones de estrés hídrico (Manivasagam & Nagarajan, 2015)

### 1.3 Índices de vegetación

La firma espectral característica de la vegetación se utilizará para obtener los llamados índices de vegetación, que al fin y al cabo no son otra cosa que diferencias, cocientes y combinaciones lineales entre los valores de respuesta espectral de la vegetación.

Nos interesa principalmente el hecho de que la reflectancia es baja en las regiones del azul y rojo, mientras que tiene un pico en la región del verde y aumenta considerablemente en la región del NIR, estas zonas son las utilizadas por la mayor parte de los índices de vegetación (Candiago, Remondino, De Giglio, Dubbini, & Gattelli, 2015).

Los índices han ido evolucionando con el tiempo, se han ido creando nuevos índices para destacar la respuesta de la vegetación, minimizando otros efectos como la influencia del suelo, la dispersión atmosférica (distinta para cada longitud de onda), etc.

Muchos índices de vegetación han sido desarrollados para estimar las variables biofísicas de las plantas, tales como la concentración de clorofila, LAI, contenido de nitrógeno, biomasa, etc. Se pretende establecer una relación utilizando distintas bandas para calcular diferentes índices de vegetación (Huang et al., 2015).

Existen índices espectrales llamados de banda ancha obtenidos a partir de sensores multispectrales, recogen información en una franja de unos 100 nm en adelante o de banda estrecha procedentes de sensores multispectrales, recogen información de una zona del espectro muchísimo más estrecha, de unos 50 nm como máximo.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

De los primeros índices utilizados están el RVI, NDVI y SAVI, de banda ancha. El rango común para el NDVI con vegetación verde está entre 0.2-0.9. El NDVI puede saturarse en condiciones de media-alta biomasa, además las bandas basadas en el rojo están bastante influidas por la reflectancia del suelo en etapas tempranas con poca vegetación. El SAVI es utilizado para eliminar el efecto del suelo, en su fórmula interviene el parámetro L, que es una constante empírica que varía entre 0, 0.5 y 1 en función de si la densidad de vegetación es alta, media o baja respectivamente.

Índice	Formula	Referencia
RVI(Ratio VegetationIndex)	$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_R}$	(Birth & McVey, 1968)
NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$	(Rouse, Hass, Schell, & Deering, 1973)
SAVI (Soil Adjusted Difference Vegetation Index)	$SAVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R) * (1 + L)}{\rho_{NIR} + \rho_R + L}$	(Huete, 1988)

Tabla 1: Índices de vegetación,  $\rho_{NIR}$  y  $\rho_R$  es la reflectancia en las bandas específicas (RVI, NDVI y SAVI)

El índice de reflectancia fotoquímica (PRI) fue desarrollado por Gamon, Peñuelas, & Field (1992) como un buen estimador de la eficiencia del uso de la luz, fue usado para predecir la concentración de clorofila en la hoja.

Kaufman & Tanre (1992) diseñaron un índice de vegetación resistente a la atmósfera (ARVI), esta resistencia a la atmósfera en comparación con el NDVI es debido a la utilización en su fórmula de la reflectancia en el azul con objeto de minimizar la dispersión atmosférica.

Índice	Formula	Referencia
PRI(PhotochemicalVegetation Index)	$PRI = \frac{(\rho_{570} - \rho_{531})}{(\rho_{570} + \rho_{531})}$	(Gamon et al., 1992)
ARVI(Atmospherically ResistantVegetation Index)	$ARVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R + 0.16)}$	(Kaufman & Tanre, 1992)

Tabla 2: Índices de vegetación (PRI y ARVI)

El TSAVI, SAVI transformado creado por Baret and Guyot (2014), donde a y b son los parámetros que definen la línea de suelo y la variable X (tabla 3), un parámetro incluido para minimizar el efecto del suelo. Qi et al. (1994) también modificaron el SAVI, creando el SAVI modificado (MSAVI). Y Rondeaux, Steven, & Baret (1996) hicieron lo propio creando el índice de vegetación ajustado al suelo optimizado (OSAVI), que reduce la sensibilidad al suelo y aumenta la de la clorofila.

Índice	Formula	Referencia
TSAVI (Transformed SAVI)	$TSAVI = \frac{a * (\rho_{NIR} - a) * (\rho_R - b)}{\rho_R + a * \rho_{NIR} - a * b + X(1 + a^2)}$	(F. Baret et al., 2014)
MSAVI (Modified SAVI)	$MSAVI = \frac{2 * \rho_{NIR} + 1 - ((2 * \rho_{NIR} + 1)^2 - 8 * (\rho_{NIR} - \rho_R))^{1/2}}{2}$	(Qi et al., 1994)
OSAVI (Optimized SAVI)	$OSAVI = (1 + 0.16) * \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R + 0.16)}$	(Rondeaux et al., 1996)

Tabla 3: Índices de vegetación (TSAVI, MSAVI y OSAVI)

A.Gitelson et al. (1996) valoraron la utilización de índices de vegetación a partir de las bandas del verde, ya que para rangos de concentración de clorofila de 0.3-45  $\mu\text{gr}/\text{cm}^2$  la máxima sensibilidad se encuentra en torno a la franja entre 520 a 630 nm y también cerca de los 700 nm. Algunos investigadores encontraron mejor correlación entre la reflectancia a 550



nm y la concentración de clorofila que usando longitudes de onda de 675 nm. Habitualmente se había utilizado el NDVI para medir biomasa verde, pero este índice relacionaba la reflectancia en el rango del rojo (cerca de 675 nm) y el NIR con variables de vegetación tales como el LAI, cubierta de copa y la concentración de clorofila total. La vegetación tiene menos reflectancia en esta región espectral y la relación de NDVI con clorofila está saturada para una concentración de clorofila mayor de 8  $\mu\text{gr}/\text{cm}^2$  e incluso 2  $\mu\text{gr}/\text{cm}^2$ , sin embargo el NDVI es sensible a bajas concentraciones de clorofila. El índice propuesto debería ser invariante respecto a otros pigmentos que la clorofila, esto podría ser interesante para encontrar bandas espectrales donde solo un factor dominante (Clorofila A) influyera en variaciones en la reflectancia. Se desarrolló el índice de vegetación de diferencia normalizada en el verde (GNDVI) que tenía una alta correlación con la clorofila y mostraba mejor respuesta que el original NDVI a variaciones en una amplia gama de concentración de clorofila, sustituyendo la banda del rojo por el verde.

Además de esto, pretendían encontrar un IV mínimamente sensible a los efectos atmosféricos siendo sensible todavía a distintas concentraciones de clorofila. Crearon el índice de vegetación en verde resistente a la atmosfera (GARI) que fuera tan resistente a los efectos atmosféricos como el ARVI pero más sensible a una amplia gama de concentración de clorofila. También diseñaron el índice de vegetación en verde y rojo resistente a la atmosfera (GRARI) donde además de la reflectancia en el verde se tenía en cuenta la reflectancia en el rojo.

Índice	Formula	Referencia
GNDVI (Green normalized difference vegetation index)	$\text{GNDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{G}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{G}}}$	(A.Gitelson et al., 1996)
GARI (Green Atmospherically Resistant Index)	$\text{GARI} = \frac{\{\rho_{\text{NIR}} - [\rho_{\text{G}} - \lambda * (\rho_{\text{B}} - \rho_{\text{R}})]\}}{\{\rho_{\text{NIR}} + [\rho_{\text{G}} - \lambda * (\rho_{\text{B}} - \rho_{\text{R}})]\}}$	(A.Gitelson et al., 1996)
GRARI (Green and Red Atmospherically Resistant Index)	$\text{GRARI} = \frac{\{\rho_{\text{NIR}} - [\eta * \rho_{\text{G}} + (1 - \eta) * \rho_{\text{R}} - \lambda * (\rho_{\text{B}} - \rho_{\text{R}})]\}}{\{\rho_{\text{NIR}} + [\eta * \rho_{\text{G}} + (1 - \eta) * \rho_{\text{R}} - \lambda * (\rho_{\text{B}} - \rho_{\text{R}})]\}}$	(A.Gitelson et al., 1996)

Tabla 4: Índices de vegetación (GNDVI, GARI y GRARI),  $\lambda$  es un parámetro que controla la corrección atmosférica, y  $\eta$  es un parámetro que refleja la reflectancia entre el rojo y el verde.

El índice del ratio de absorción de clorofila modificado (MCARI) por Daughtry, Walthall, Kim, de Colstoun, & McMurtrey (2000), se trata de un índice de banda estrecha diseñado para minimizar los efectos combinados de la reflectancia del suelo y superficies no fotosintéticas.

Broge & Leblanc (2001) diseñaron el índice de vegetación triangular (TVI), representa el área del hipotético triángulo formado entre el pico de la reflectancia del verde, la depresión en el rojo por máxima absorción clorofilica y máxima reflectancia en el infrarrojo cercano.

Serrano, Penuelas, & Ustin (2002) usaron las longitudes de onda de 1510 y 1680 nm localizado dentro de la región del infrarrojo de onda corta (SWIR) para desarrollar el índice de diferencia normalizada de nitrógeno (NDNI).

El índice del ratio de absorción de clorofila modificado (TCARI) de banda estrecha (Haboudane, Miller, Tremblay, Zarco-Tejada, & Dextraze, 2002), ofrece buenos resultados con valores de LAI elevados, si no es muy sensible al suelo. También crearon el índice TCARI/OSAVI para incrementar la sensibilidad a la concentración de clorofila a través del

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

TCARI y reducir la influencia del suelo mediante el OSAVI. Este índice fue altamente relacionado con el contenido en clorofila, especialmente en el caso de datos mixtos, combinación planta y suelo. Aunque los índices de clorofila pueden estimar el contenido de clorofila con bastante precisión, no tienen correlación directa con la concentración de nitrógeno. En contraposición, los índices de nitrógeno (como el NDNI) con las longitudes de onda características de la zona de absorción de nitrógeno tienen una conexión directa con el contenido en N. Por tanto estos índices son los que deberían ser objeto de estudio a la hora de intentar analizar el nitrato de una parcela.

Anatoly et al. (2003) buscaban un índice que reflejara el contenido en clorofila de la planta, lo llamó índice de clorofila (CI)

El índice de vegetación triangular modificado 1 y 2 (MTVI, MTVI2), por Haboudane et al. (2004), predice mejor los índices de área foliar (LAI), debido a una menor sensibilidad a la variación de clorofila en la planta y es resistente al fenómeno de saturación para valores altos de LAI.

Índice	Formula	Referencia
MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Reflectance Index)	$MCARI = \frac{(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2 * (\rho_{700} - \rho_{550})}{\rho_{670}}$	(Daughtry et al., 2000)
TVI (Triangular Vegetation Index)	$TVI = 0.5 * [120 * (\rho_{NIR} - \rho_G) - 200 * (\rho_R - \rho_G)]$	(Broge & Leblanc, 2001)
NDNI (Normalized Difference Nitrogen Index)	$NDVI = (\log(\frac{1}{\rho_{1510}}) - \log(\frac{1}{\rho_{1680}})) / (\log(\frac{1}{\rho_{1510}}) + \log(\frac{1}{\rho_{1680}}))$	(Serrano et al., 2002)
TCARI (Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index)	$TCARI = 3 * [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2 * (\rho_{700} - \rho_{550})] \frac{\rho_{700}}{\rho_{670}}$	(Haboudane et al., 2002)
TCARI/OSAVI	TCARI/OSAVI (tabla 3)	(Haboudane et al., 2002)
CI (Chlorophyll Index)	$CI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{PRE}} - 1$	(Anatoly et al., 2003)
MTVI (Modified Triangular Vegetation Index)	$MTVI = 0.012 * [120 * (\rho_{NIR} - \rho_G) - 200 * (\rho_R - \rho_G)]$	(Haboudane et al., 2004)
MTVI2 (Second Modified Triangular Vegetation Index)	$MTVI2 = \frac{1.5 * [1.2 * (\rho_{800} - \rho_{550}) - 2.5 * (\rho_{670} - \rho_{550})]}{[(2 * \rho_{880} + 1)^2 - (6 * \rho_{800} - 5 * \rho_{670}^{\frac{1}{2}}) - 0.5]^{1/2}}$	(Haboudane et al., 2004)

Tabla 5: Índices de vegetación (MCARI, TVI, NDNI, TCARI, TCARI/OSAVI, CI, MTVI y MTVI2)

Hay tantos índices como posibles combinaciones entre las distintas bandas del espectro, e incluso índices que proceden de ratios entre otros índices. Los sensores van evolucionando y cada vez tienen mayor capacidad de recoger la reflectancia en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético, las posibilidades son innumerables. Numerosos investigadores han analizado diversos índices de vegetación con diferentes propósitos (Serrano et al., 2002; Chen et al., 2010; Cao et al., 2013; Cilia et al., 2014; Li et al., 2014; Huang et al., 2015).

En algunos trabajos de investigación se utilizaron índices obtenidos a partir fundamentalmente del infrarrojo cercano y del red edge que mejoraban la estimación de biomasa sobre el suelo, la captación de N de las plantas, y el índice de nutrición nitrogenada en las distintas fases del crecimiento del arroz (Huang et al., 2017). A continuación se adjuntan algunos índices interesantes para la estimación del Nitrógeno en las plantas.

Índice	Formula	Referencia
NDRE (Normalized Difference Red Edge Index)	$NDRE = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{PRE}}{\rho_{NIR} + \rho_{PRE}}$	(Barnes et al., 2000)



Tabla 6: Índices de vegetación (NDRE, MTCI, RECI, CCCI, NDPI, RESAVI, MRESAVI, REDVI, RERDVI y DCNI)

Índice	Formula	Referencia
MTCI (MERIS Terrestrial Chlorophyll Index)	$MTCI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RE}}{\rho_{RE} - \rho_R}$	(Dash & Curran, 2004)
RECI (Red Edge Chlorophyll Index)	$RECI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RE}} - 1$	(Gitelson et al., 2005)
CCCI (Canopy Chlorophyll Content Index)	$CCCI = \frac{\rho_{RE} - \rho_{REmin}}{\rho_{REmax} - \rho_{REmin}}$	(Barnes et al., 2000)
NDPI (Nitrogen Planar Domain Index)	$NDPI = \frac{RECI - RECImin}{RECImax - RECImin}$	(Clarke et al., 2001)
RESAVI (Red Edge Soil Adjusted Vegetation Index)	$RESAVI = 1.5 * \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RE}}{\rho_{NIR} + \rho_{RE} + 0.5}$	(Sripada et al., 2005)
MRESAVI (Modified RESAVI)	$MRESAVI = 0.5 * [2 * \rho_{NIR} + 1 - ((2 * \rho_{NIR} + 1)^2 - 8 * (\rho_{NIR} - \rho_{RE}))^{\frac{1}{2}}]$	(Qi et al., 1994)
REDVI (Red Edge Difference Vegetation Index)	$REDVI = \rho_{NIR} - \rho_{RE}$	(Tucker, 1979)
RERDVI (Red Edge Re-normalized Difference Vegetation Index)	$RERDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RE}}{(\rho_{NIR} + \rho_{RE})^{1/2}}$	(Roujean & Breon, 1995)
TCI	$TCI = 1.2 * (\rho_{700} - \rho_{550}) - 1.5 * (\rho_{670} - \rho_{550}) * (\frac{\rho_{700}}{\rho_{670}})^{1/2}$	(Haboudane et al., 2008)
DCNI (Double-peak Canopy Nitrogen Index)	$DCNI = (\rho_{720} - \rho_{700}) / (\rho_{700} - \rho_{670}) / (\rho_{720} - \rho_{700} + 0.03)$	(Chen et al., 2010)

Tabla 6: Cont.

#### 1.4 El Nitrógeno en los cultivos

Distintos productos químicos son aplicados al terreno para mejorar la producción agrícola. La fertilización de nitrógeno es uno de los factores que más influencia fisiológica y aspecto estético aporta a la planta. Además representa una importante aportación de nutrientes para que la planta mantenga una buena salud (Caturegli et al., 2016). Se tiende a aplicar altos contenidos de nitrógeno (N) para conseguir mayor producción, en los últimos 50 años la cosecha de cereal ha aumentado en 3.2 veces, principalmente debido al aumento de fertilizantes sintéticos. La utilización de N por ejemplo en el arroz es mucho más baja en China 11.7 Kg/kg que en países desarrollados como Estados Unidos con 20-25 kg/kg. La sobre aplicación de N incrementa el riesgo de polución en el entorno debido al exceso de N en las superficies de agua, aguas subterráneas, o atmosfera. Es necesario estrategias precisas para su manejo, para aportarlo en el momento y cantidad justa. Esto requiere el desarrollo de tecnologías que nos permitan diagnosticar el contenido de N en el cultivo en tiempo real para una zona determinada, y así guiarnos en tratamientos posteriores que serán más acordes con las necesidades del cultivo.

El uso excesivo de fertilizantes debe evitarse para minimizar los impactos ambientales. Sin embargo, aunque la cantidad de N puede ser reducida sin pérdidas en la producción los agricultores a menudo administran N en exceso para evitar cualquier déficit de N y asegura beneficios al final de la temporada (IFA-FAO, 1968).

Para evitar tales excesos a nivel de fertilizantes uno de los principales pasos a nivel europeo fue la directiva de nitratos 91/676/CEE del 1991 (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128013>) concerniente a la protección del terreno y

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

superficies de agua en contra de la contaminación causada por los nitratos ( $\text{NO}_3$ ). Las modificaciones y correcciones sucesivas a esta directiva se han incorporado al texto original. Esta directiva impuso la identificación de las aguas que contienen más de 50mg/lit de  $\text{NO}_3$  o podían llegar a este punto y la adopción de programas sobre estas zonas vulnerables. El último estudio de la comisión europea sobre esta directiva indica que el consumo de fertilizantes químicos se está reduciendo.

Por tanto, en agricultura es importante conocer el contenido de N de una forma rápida y en diferentes periodos de tiempo mediante técnicas no destructivas, en esto desempeña un papel muy importante la teledetección con sensores en sus distintas plataformas (avionetas, satélites y últimamente UAVs). La utilización de satélites es cada vez más habitual para extensiones grandes, y más teniendo en cuenta las mejoras en resolución espacial, espectral y temporal, pero estas plataformas aún tienen ciertas limitaciones como pueden ser las condiciones atmosféricas que muchas veces impiden obtener información en su momento preciso. Estos problemas podrían subsanarse con la utilización de UAVs.

La estimación del estado de nitrógeno de la planta proporciona una información clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible, esto será interesante para un tratamiento posterior de fertilizantes. Muchas de estas técnicas son generalmente pesadas, costosas, destructivas y no puede ser muy repetitiva. Las técnicas de teledetección ofrecen una gran oportunidad para completar los muestreos de campo.

Diferentes autores han intentado establecer la relación entre el contenido de Nitrógeno (N), y distintas características de la planta, como contenido en clorofila y peso específico de la hoja. Para determinarlos a partir de la respuesta espectral (F. Baret & Fourty, 2013). Existen estudios que establecieron la relación entre el contenido de N y el de clorofila (Ercoli, Mariotti, Masoni, & Massantini, 1993; Hosgood et al., 1994). Fiel & Mooney (1986) encontraron que para valores bajos de peso específico de la hoja, generalmente correspondientes a hojas jóvenes, la concentración de N varía ampliamente. Por otro lado, a mayor peso específico la concentración de N se mantiene más o menos estable. Resulta difícil establecer una relación entre el peso específico de la hoja y la concentración de N. Turner & Jund (1991) demostraron que es posible determinar el requerimiento en N a partir de estimaciones en el contenido de clorofila.

Desde principios de la década de los 80 se han propuesto relaciones empíricas para detectar variaciones en la reflectancia de la vegetación debido a la concentración de clorofila. Pueden ser diseñadas utilizando bandas espectrales estrechas situadas en el red edge o utilizando un conjunto de bandas anchas.

En términos generales el contenido en N de la planta está relacionado con el contenido en clorofila y la cantidad de área foliar. El verdor de la planta está fuertemente relacionado con el contenido de clorofila de la hoja y el estado de N, así que ha sido utilizado como indicador de la disponibilidad de N (Hunt et al., 2012).

En el maíz el 50-70 % del Nitrato del total de la hoja se asocia con el cloroplasto, más suministro de N puede aumentar la concentración de clorofila foliar, que absorbe más luz y disminuye la reflectancia de las bandas en zonas del visible (Dwyer et al., 1995; Heege, Reusch, & Thiessen, 2008). Por otra parte, una mayor cantidad de N incrementa la biomasa

de la planta y LAI, produciendo una mayor dispersión de la radiación solar incidente en la región del NIR por el dosel de la planta (Heege et al., 2008). Es importante señalar que la relación entre la concentración de N de la hoja y la de clorofila no es lineal (Dwyer et al., 1995) así que los índices de vegetación mejores para estimar la clorofila de la hoja pueden no ser los mejores para estimar su concentración de N.

#### 1.4.1 Determinación del N en el cultivo

La concentración de N en la planta (PNC) y absorción de N (PNU), han sido comúnmente utilizados como indicador del estado de N en planta. La PNU se incrementa con el desarrollo de la planta, por el contrario la concentración de N disminuye con el desarrollo del cultivo de maíz (Li et al., 2014). Para mejorar el diagnóstico del estado en nitratos se introdujo el concepto de concentración crítica de N ( $N_c$ ), que consiste en el mínimo PNC necesario para conseguir la máxima producción de biomasa aérea,  $N_c$  decrece al aumentar la biomasa, este  $N_c$  viene descrito por una función llamada curva crítica de dilución de N (Justes et al., 1998; Lemaire, Jeuffroy, & Gastal, 2008), de tal forma que se puede calcular la  $N_c$  para un valor de biomasa determinado. También  $N_c$  se puede calcular a partir de la masa seca en ese momento, tal que  $\%N_c = a \times (W)^{-b}$ , donde a y b son constantes dependientes del cultivo y W (t/ha) corresponde a la masa seca.

El actual PNC ( $N_a$ ) puede entonces compararse con el  $N_c$  y su ratio se denomina el índice de nutrición de N ( $NNI = N_a/N_c$ ). El NNI que el PNC o PNU es mejor indicador para el diagnóstico del estado de N en el cultivo. Si  $N_a$  es mayor que  $N_c$  ( $NNI > 1$ ), esto indica un exceso de N, mientras lo opuesto es que  $N_a < N_c$ . Un valor de  $NNI = 1$  implica un suministro de N óptimo.

El cálculo de NNI requiere destrucción de muestras y análisis químicos para determinar la biomasa y concentración de N de la planta, lo cual es costoso en tiempo y dinero, siendo poco práctico para áreas extensas. Por tanto hay un incremento en el uso tecnologías no destructivas como la teledetección para estimar el NNI en el cultivo. Yao et al. (2012) en sus trabajos de investigación vieron que se podía incrementar la productividad en un 48-65 % mediante la utilización de sensores en tierra. Se ha utilizado por distintos investigadores de forma satisfactoria el medidor de clorofila (CM, figura 6) para estimar el NNI en el trigo y maíz, sin embargo los datos del CM son mediciones puntuales a nivel de hoja e inadecuados para su utilización en grandes extensiones. Varios investigadores han utilizado sensores pasivos para estimar el NNI en trigo (Mistele & Schmidhalter, 2008) y en el maíz (Chen, P.F., Wang, J., Huang, W.J., Tremblay, N., Ou, Y., and Zhang, 2013) con bastante éxito.

Los sensores pasivos tienen ciertas limitaciones temporales y atmosféricas, además suelen ser bastante caros, por lo que esta metodología es más adecuada para investigación que para aplicación habitualmente en agricultura.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.



Figura 6: Medidor de clorofila (CM)

Existen también sensores activos que a diferencia de los sensores pasivos emiten en una frecuencia determinada y mide la radiación reflejada sin depender de la luz solar ambiental, no están influidos por el entorno y no necesitan calibraciones frecuentes. Un sensor de este tipo es el GreenSeeker (figura 7), se trata de un sensor que mide el desarrollo y verdor de los cultivos, se utiliza para mapear el índice NDVI e inferir a partir de éste la necesidad de nitrógeno de los cultivos (especialmente trigo y maíz). Este sensor emite luz con longitudes de onda en el rojo e infrarrojo cercano, que reflejada es capturada por el sensor y nos permite calcular el NDVI y RVI.



Figura 7: Sensor activo GreenSeeker

Otro tipo de sensor es el CropCircle ACS-470 (figura 8), se trata de un emisor de luz en tres longitudes de ondas, configurable en intervalos de 12.5 nm de 420 a 800 nm, que nos permite calcular distintos índices utilizando también el red edge, por ejemplo el RESAVI, MRESAVI (RESAVI modificado), REDVI (índice de vegetación de diferencia de red edge), y RERDVI (índice de vegetación de diferencia re-normalizada). Este tipo de sensor se ha utilizado en trigo y maíz, aunque no se ha probado en arroz.



Figura 8: Sensor activo Crop Circle ACS-470

Tenemos también el sensor SPAD-502 (figura 9) que nos permite determinar el contenido de clorofila y N de las plantas. Se toman muestras en campo y determinando el

LAI, por el método de peso seco de acuerdo a Bei, Wang, Chu, Chen, & Li, (2005), se obtiene la concentración de N usando el método de Kjeldahl. Para calcular el NNI, el  $N_c$  fue calculado por la formula desarrollada para el arroz por Colnenne, Meynard, Reau, Justes, & Merrien, (1998),  $N_c = a * W^b$ , donde  $a = 2.77$ ,  $b = -0.34$ ,  $N_c$  es la concentración crítica de N y W es el peso en seco en t/Ha. (Cilia et al., 2014; Huang et al., 2015).

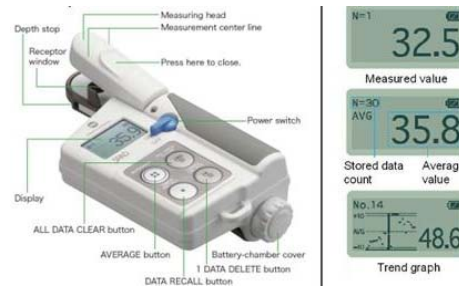


Figura 9: Sensor SPAD-502

Se puede utilizar en campo también un analizador de CO<sub>2</sub> como el Ciras-1 (figura 10 izqda.), un Photosynthesis Yield Analyzer Mini-Pam (figura 10 dcha.) que sirve para medir el rendimiento fotosintético cuando mayor es mas sanas están las hojas, el SunScan Canopy Analysis (figura 11 izqda.) que se trata de un medidor de LAI (área verde por unidad de área de suelo) y el Dualex Scientific que estima también el contenido de clorofila y la concentración de polifenoles (Flv=Flavonol) (figura 11 dcha.).



Figura 10: Ciras-1 (izqda) y Photosynthesis Yield Analyzer Mini-Pam(dcha)



Figura 11: SunScan Canopy Analysis(izqda.) y DualexScientific (dcha.)



La estimación del NNI puede realizarse directa o indirectamente. El método directo es usar el índice de vegetación seleccionado para estimar el NNI directamente basado en una relación establecida previamente. El método indirecto se basa en usar primero un determinado/s índice de vegetación para estimar la biomasa y PNU. A partir de ahí con la curva de dilución del N podemos obtener el  $N_c$  para cada valor de biomasa, y con ello calcular el PNU ( $\text{biomasa} \times N_c$ ). Con esto podemos estimar el NNI utilizando el cociente entre PNU actual y el PNU crítico ( $\text{biomasa} \times N_a / \text{biomasa} \times N_c = N_a / N_c$ ). Desde el punto de vista práctico distinguen zonas con deficiencia de N donde  $NNI < 0.95$ , estado óptimo de N con  $NNI$  entre 0.95 y 1.05, y por último exceso de N para un  $NNI > 1.05$  (Huang et al., 2015).

A partir de ahí se crearán mapas de NNI que nos permiten analizar el estado de N a nivel global. Cilia et al. (2014) en sus investigaciones utilizaron teledetección hiperespectral aérea para estimar la concentración de N y biomasa y posteriormente estimar indirectamente NNI. También realizaron mediciones en campo del NNI ( $\%N_a / \%N_c$ ) mediante técnicas destructivas para determinar la concentración actual de N ( $\%N_a$ ), la masa seca en planta ( $W$ , t/Ha), y la producción de grano. A partir del  $\%N_a$  y  $W$  se calculó  $\%N_c = a \times (W)^{-b}$  (mínima concentración de N necesaria para conseguir la máxima masa seca por encima del terreno), donde  $a$  y  $b$  son constantes dependientes del cultivo. En este caso  $a = 3.40$  y  $b = 0.37$ . NNI cercano a 1 representa el óptimo contenido en N, menor de 1 deficiencia de N, y mayor de 1 exceso de N. Propusieron clasificar el NNI en cinco clases  $NNI \leq 0.7$ ,  $0.7 < NNI \leq 0.9$ ,  $0.9 < NNI \leq 1.1$ ,  $1.1 < NNI \leq 1.3$ ,  $NNI > 1.3$ .  $NNI \leq 0.9$  será cultivo deficiente en N,  $0.9 < NNI \leq 1.1$  óptimo,  $NNI > 1.1$  como cultivo con exceso de N. Un mapa de acuerdo a estos criterios puede ser una guía para el tratamiento de N.

Un enfoque más cuantitativo es obtener un mapa con diferencias de PNU usando el PNU estimado menos el PNU crítico (Huang et al., 2015), este mapa nos determinará no solo las zonas con estado de N deficiente, óptimo o en exceso sino también la cantidad de deficiencia o superávit, que puede ser utilizado para establecer un procedimiento para la fertilización del arroz en este caso.

En general no es aconsejable estimar el NNI cuando la mayor parte de la superficie no está ocupada por el cultivo, ya que los valores de reflectancia pueden estar contaminados por las zonas que no son vegetación, como puede ser suelo desnudo o agua. Aunque puede darse el caso que si nos esperamos a que la mayor parte de la superficie este cubierta por el cultivo sea demasiado tarde para orientar la aplicación de N (Huang et al., 2015).

La utilización de imágenes de teledetección para análisis de contenido y aportación de N es una idea muy interesante, en general se produce bastante correlación entre una serie de índices de vegetación con el NNI, principalmente con el RVI3 (Huang et al., 2015), resultados que son ligeramente mejores que los obtenidos con el NDVI y RVI mediante el sensor activo GreenSeeker (Yao et al., 2012).

Investigaciones anteriores indicaron que los índices de vegetación basados en el RE consiguen mejores estimaciones del NNI que los índices tradicionales basados en el rojo. Según Li et al. (2014) el índice de contenido de clorofila en el canopy/dosel (CCCI) basado en RE funcionaba mejor para determinar la concentración y absorción de N en el maíz de verano.

La teledetección hiperespectral ofrece un gran potencial que nos permitiría mejorar la estimación de NNI en los cultivos. Además la teledetección por satélite podía conseguir rendimientos comparables a los sensores en el terreno, y mucho más eficiente para grandes superficies, pero más influenciado por las condiciones meteorológicas. Los sensores en superficie son fáciles de usar pero están limitados en superficie, a diferencia de la teledetección espacial en la que se requiere ciertos conocimientos para tratarla. Se supone que en un futuro los UAVs superarían las desventajas de los sensores en superficie y la teledetección por satélite, estos dispositivos nos permitirán un mayor control del momento de toma de las imágenes, aunque actualmente existe el problema de la autonomía dificultando el trabajo en grandes extensiones.

El potencial de la teledetección basada en UAVs junto con índices basados en el RE y sensores hiperespectrales que abarcan una zona amplia del espectro electromagnético nos permitiría mejorar la estimación del NNI para distintos cultivos, esto conviene ser estudiado más profunda y detenidamente.

### 1.5 Estudios sobre el Nitrato en los cultivo

El hecho que el uso de fertilizantes sea tan beneficioso para la agricultura pero a la vez su exceso pueda ser tan perjudicial para el medio ambiente ha supuesto la atención de numerosos investigadores.

En las últimas décadas muchos índices habían sido propuestos para estimar el nitrógeno en los cultivos y muchos de ellos se obtenían a partir del rojo, perdiendo la sensibilidad bajo altas condiciones de biomasa aérea.

Chen et al. (2010) utilizaron el DCNI para estimar la concentración de nitrógeno de la planta, calculando el NNI. Este índice fue cotejado con muestras recogidas de maíz y comparado con los índices existentes para la detección de N hasta la fecha y demostró ser el mejor de todos ellos.

Cao et al. (2013) estudiaron mediante el sensor activo CropCircle ACS-470 como de bien se podía estimar el estado de N en el cultivo de arroz. De todos los índices utilizados observaron que era el MCARI1, RESAVI, MRESAVI, REDVI y RERDVI los que ofrecían mejores resultados para la estimación de la biomasa, el PNU y el NNI en el arroz, haciendo de esta metodología una alternativa muy válida respecto a las técnicas destructivas. MCARI se calculó mediante la fórmula  $[(NIR-RE)-0.2*(NIR-G)]*(NIR/RE)$ .

Li et al. (2014) también usaron el RE para la estimación del PNU y la concentración de N en el maíz de verano, así como la influencia del ancho de banda y los cambios debidos al crecimiento de la planta.

Distintos experimentos se realizaron en el 2009 y 2010 en las llanuras del norte de China, utilizando también el sensor activo CropCircle ACS-470. Los resultados indicaron que el CCCI (índice de contenido en clorofila del dosel/canopy) realizó las mejores estimaciones de N en distintas etapas de crecimiento. El segundo mejor índice fue el MTCI (índice de clorofila terrestre MERIS). Además de estos dos índices, otros como el NDRE (índice de diferencia normalizada en el RE), y el  $CI_{rededge}$  (índice de clorofila en el RE) obtuvieron

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

mejores resultados para la estimación del PNU que el NDVI y RVI (razón de índices de vegetación).

Basado en el NDRE y NDVI, el CCCI usa tres bandas (rojo, RE y NIR) y permite una medida del estado del N sin verse afectado significativamente por la cubierta del suelo. Este índice también demostró ser muy estable con diferentes anchos de banda, presentando un gran potencial para evaluar la concentración y absorción de N utilizando el sensor CropCircle ACS-470 e imágenes de teledetección.

Se demostró que el MTCI estaba fuertemente correlacionado con el contenido en clorofila, muestra menos saturación con el incremento de N, pero en determinadas etapas de desarrollo del maíz se ve afectado por el suelo. Como el CCCI se comportó de forma bastante estable para distintos anchos de bandas. Aunque es mucho más fácil de calcular que el REP y CCCI, presentando un gran potencial para realizar el seguimiento del contenido de N en el maíz.

El NDRE tiene similar comportamiento que el CCCI en determinadas etapas de crecimiento, pero se ve afectado por el suelo también en otras.

El GNDVI se comporta mejor que el NDVI estimando la concentración de N de la planta, principalmente en etapas tempranas, casi igual o ligeramente peor que el NDRE.

Fei Li et al. (2014) coinciden con otros autores en la importancia de añadir la banda del RE para la estimación de distintos parámetros biofísicos de la planta. Y como los autores anteriores el CCCI es el índice más consistente para la estimación de la absorción y concentración de N en la planta. Generando además el mejor modelo para evaluar la concentración de N de las plantas de maíz en verano en sus etapas tempranas. En el caso de estimar la absorción de N por parte de la planta también en esas mismas etapas los mejores modelos son los obtenidos a partir del CCCI y MTCI. Para reflejar la absorción de N en las plantas en otras etapas de crecimiento los se utilizó índices CCCI, MTCI, NDRE y  $CI_{rededge}$  se comportaron mejor que los índices NDVI y RVI. Esto demuestra la importancia del RE para estimar el estado de N en el maíz de verano utilizando tanto sensores activos en el terreno como teledetección por satélite.

Cilia et al. (2014), analizaron los sensores hiperespectrales aéreos para estimar el NNI indirectamente. Utilizaron para ello el ratio MCARI/MTVI2 para estimar el PNC, y el MTVI2 para la biomasa. Combinaron las predicciones de PNC y los mapas de biomasa para generar un mapa de NNI, el cual se cotejó con las medidas obtenidas a partir de muestras destructivas. El ratio entre MCARI/MTVI2 presentaron los mejores resultados para la estimación del % de N y MTVI2 para la estimación de  $W_{flight}$ . Se obtuvo una alta correlación entre los datos estimados de NNI y los obtenidos mediante muestras destructivas en campo.

Estos autores agruparon los índices de vegetación en tres grupos en función de los que a priori eran más sensibles al Nitrógeno, a los pigmentos foliares o al verdor. Las imágenes fueron tomadas con el sensor AISA Eagle, y los centros de cada banda utilizados para los cálculos de los distintos índices de vegetación son: 550.51 ( $\rho_{550}$ ), 669.55 ( $\rho_{670}$ ), 681.52 ( $\rho_{681.25}$ ), 700.72 ( $\rho_{700}$ ), 707.94 ( $\rho_{708.75}$ ), 719.96 ( $\rho_{720}$ ), 753.70 ( $\rho_{753.75}$ ), y 799.81 ( $\rho_{800}$ ). Con lo cual los índices quedarían de la siguiente forma.



Categoría	Índice	Formula	Referencia
Nitrógeno (N)	DCNI	Tabla 6	
	MCARI/MTVI2	Tabla 5	
	MCARI/MTVI2	Tabla 5	
	TCARI/ OSAVI	TCARI/ OSAVI	(Haboudane et al., 2002)
	TCARI/ MSAVI	TCARI/ MSAVI	(Haboudane et al., 2002)
	MTCI	$MTCI = (\rho_{753.75} - \rho_{708.75}) / (\rho_{708.75} + \rho_{681.25})$	(Dash & Curran, 2004)
	MTCI/ MSAVI	MTCI/ MSAVI	(Haboudane et al., 2008)
	TCI	Tabla 6	(Haboudane et al., 2008)
	TCI/ OSAVI	TCI/ OSAVI	(Haboudane et al., 2008)
Verdor	NDVI	$NDVI = (\rho_{800} - \rho_{670}) / (\rho_{800} + \rho_{670})$	(Rouse et al., 1973)
	OSAVI	$OSAVI = (\rho_{800} - \rho_{670}) / (\rho_{800} + \rho_{670} + 0.16)$	(Rondeaux et al., 1996)
	MSAVI	$MSAVI = 0.5 * \{2 * \rho_{800} + 1 - [(2 * \rho_{800} + 1)^2 - 8 * (\rho_{800} - \rho_{670})]^{0.5}\}$	(Qi et al., 1994)
	MTVI2	Tabla 5	

Tabla 7: Índices de vegetación (Cilia et al., 2014)

En sus análisis confirmaron la relación entre N y el contenido de clorofila.

Vieron que los índices de clorofila combinados (MACARI/MTVI2, TCARI/OSAVI, TCARI/MSAVI, TCI/OSAVI) eran los que mejor se relacionaron con Cab y %Na, mejor incluso que los índices de clorofila tradicionales, debido a la minimización de los efectos estructurales y contribuciones del suelo.

Los parámetros de interés para la obtención del NNI (%Na y Wflight) fueron satisfactoriamente estimados con los índices MCARI/MTVI2 en el caso de %Na y MTVI2 para el Wflight. Se obtuvo buena correlación entre el NNI a partir de teledetección y el muestreo de campo. Mediante esta información generaron un mapa de NNI y propusieron un método empírico para cuantificar el déficit o exceso de N expresado en grN/m<sup>2</sup>. Para ello se calculó el actual contenido de N acumulado en la biomasa por encima del suelo (Nw) como %Na\*W(g/m<sup>2</sup>) y el óptimo Nw (Nw<sub>opt</sub>) fue calculado como la media de los pixeles con NNI cercano a 1 (óptimo valor de NNI, 0.9 < NNI ≤ 1.1, ≈ 8.3 grN/m<sup>2</sup>). El Nstatus (estado de N) fue calculado como la diferencia entre Nw y Nw<sub>opt</sub>. Generando también un mapa con los estados de N, de tal forma que las zonas con Nstatus > 0 son zonas con exceso de N, si es < 0 son zonas deficitarias que sería necesario aportar N y si es aproximadamente 0 tienen el contenido óptimo de N.

Este estudio permitió definir la cantidad mínima de N a aplicar sin disminuir la producción y evitando una fertilización excesiva, se volvió a demostrar que es posible utilizar teledetección para detectar áreas con déficit de N.

Huang et al. (2015) analizaron distintas variables agronómicas en el arroz incluyendo biomasa sobre el terreno (AGB), índice de área foliar (LAI), concentración de N en la planta

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

(PNC), absorción de N por la planta (PNU) e índice de nutrición de N (NNI). Los mejores índices de vegetación para estas variables de todos los utilizados fueron el MCARI para los dos primeros y RVI para los dos últimos parámetros.

Wang & Wei (2016) demostraron que el NDNI (índice de diferencia normalizada de nitrógeno) revisado era más sensible al estado de N de la planta y resistente a los efectos del suelo. Se intentó buscar la longitud de onda adecuada más sensible al contenido de N de la planta.

Está más que demostrado la relación entre el contenido de clorofila y el N, las bandas de la zona del espectro electromagnético sensibles a la clorofila están entre 430-660 y entorno a 700 nm, pero el problema está en establecer esta relación, ya que no siempre es lineal sino que está influenciada por múltiples factores. Estos autores consideran que los índices para estimar la concentración de nitrógeno en las plantas se clasifican en los índices de nitrógeno (como NDNI) y los índices de clorofila (como CCCI, GNDVI, PRI, y TCARI/OSAVI).

Estos autores revisaron el índice SAVI sustituyendo el rojo por la longitud de onda 1510 nm, se comparó el NDNI con el ratio NDNI/SAVI, determinaron la relación entre el N de la planta y el NDNI revisado, compararon el NDNI revisado con los índices relacionados con la estimación de N, testearon la correlación entre estos índices y LAI, evaluando las predicciones de nitrógeno del dosel usando datos hiperespectrales.

El NDNI fue usado para estimar las variaciones en el contenido de N, está basado en los picos de absorción del nitrógeno. La estimación del N a través NDNI podía verse afectada por los distintos estados fenológicos (verde o senescencia), señales del suelo (agua o suelo desnudo), para evitar esto se propuso la utilización del cociente NDNI/SAVI, pero sustituyen en el SAVI las longitudes de onda del rojo por las del infrarrojo cercano de onda corta quedando  $SAVI_{1510}$  y  $\frac{NDVI}{SAVI_{1510}}$  como se recogen en la siguiente tabla.

Índice	Formula	Referencia
$SAVI_{1510}$	$SAVI_{1510} = (1 + L)(\rho_{800} - \rho_{1510})/(\rho_{800} + \rho_{1510} + L)$	(Wang & Wei, 2016)
$\frac{NDVI}{SAVI_{1510}}$	$\frac{NDVI}{SAVI_{1510}} = ((\log(\frac{1}{\rho_{1510}}) - \log(\frac{1}{\rho_{1680}}))/(\log(\frac{1}{\rho_{1510}}) + \log(\frac{1}{\rho_{1680}})))/(1 + L)(\rho_{800} - \rho_{1510})/(\rho_{800} + \rho_{1510} + L)$	(Wang & Wei, 2016)

Tabla 8: Índices de vegetación ( $SAVI_{1510}$ ,  $NDVI/SAVI_{1510}$ )

También vieron en sus estudios que los índices diseñados para determinar el contenido de clorofila en las plantas presentaban una correlación lineal con el contenido en N de la planta.

Los índices quedarían de la siguiente forma:

Índice	Formula	Referencia
CCCI (CanopyChlorophyll Content Index)	$CCCI = \frac{\rho_{790} - \rho_{720}}{\rho_{790} + \rho_{720}}$	(Barnes et al., 2000)
TCARI/OSAVI	$TCARI/OSAVI = \frac{3 * [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2 * (\rho_{700} - \rho_{550}) * (\frac{\rho_{700}}{\rho_{670}})]}{(1 + 0.16) * (\rho_{800} - \rho_{670}) / (\rho_{800} + \rho_{670} + 0.16)}$	(Haboudane et al., 2002)

Tabla 9: Índices de vegetación (Wang & Wei, 2016).

Índice	Formula	Referencia
GNDVI(Green normalized difference vegetation index)	$GNDVI = \frac{\rho_{750} - \rho_{550}}{\rho_{750} + \rho_{550}}$	(A.Gitelson et al., 1996)
PRI(PhotochemicalVegetation Index)	$PRI = \frac{(\rho_{570} - \rho_{531})}{(\rho_{570} + \rho_{531})}$	(Gamon et al., 1992)

Tabla 9: Cont.

Estos estudios se han realizado para vegetación en zonas húmedas, habría que ver cómo responden estos índices en otros tipos de cultivos.

Huang et al. (2017) volvieron a analizar los mismos parámetros que en el 2015, la AGB, el PNC, el PNU y el NNI. Estos investigadores vieron que para estimar la biomasa aérea (AGB) los índices basados en el red edge como MERIS, MTCI, CCCI, NDPI y NDRE mejoraban significativamente los resultados de estimación comparado con los índices obtenidos a partir del rojo, como se ha comentado anteriormente esto es debido a que los índices que utilizan el red edge están más relacionados con el contenido en clorofila.

Particularmente la utilización de bandas del red edge más o menos altas (705-745 y 690-730 nm) demostraron tener distinta sensibilidad en función del estado de la planta. Estado más avanzado más sensible a red edge con longitudes de onda más altas.

Los índices obtenidos a partir del verde como el GNDVI y CI mejoran también la evaluación del N respecto a otros índices basados en el rojo (Carter, 1993; Gregory A. Carter & Knapp, 2001; Huang et al., 2017).

En investigaciones precedentes Yu et al. (2013) describen “dos zonas calientes” relativas al estado de N, bandas basadas en el red edge (RE, 700-760 nm) emparejadas con la región del RE a infrarrojo cercano (NIR, 700-1100 nm) y la región del verde (500-590 nm) emparejada con la zona del RE al NIR (700-1100 nm), lo cual confirma la importancia del RE, NIR y G para la estimación del estado de N.

Estos autores llegaron a la conclusión que el uso de bandas en el RE, además de bandas adicionales en el visible e NIR, son útiles para el seguimiento del N por lo menos en el arroz.

Otros estudios del mismo año llevados a cabo por Gabriel et al. (2017) para determinar la concentración de nitrógeno en parcelas de maíz observaron que estaba fuertemente relacionado con el índice TCARI/OSAVI pero no con el NDVI.

Hunt et al., 2012 estudiaron los índices OSAVI, DCNI, TCARI, R750/710, TCARI/OSAVI, y el NDVI, los ajustes entre los distintos índices y la concentración de N de la hoja (%N) fueron particularmente buenos para el índice TCARI/OSAVI, mientras que con el NDVI los resultados no fueron muy significativos.

## 1.6 Antecedentes

La idea de este proyecto nace de la necesidad que tiene la industria agroalimentaria de establecer un sistema de fertilización que garantice el desarrollo óptimo del producto así como el cumplimiento de calidad de acuerdo a la normativa vigente. Para ello se llegó a un acuerdo de colaboración entre INTIA, GELAGRI y FUVEX para realizar el seguimiento y evolución en función de distintos tratamientos de fertilización en un determinado producto, en este caso

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

de espinacas, por ser un cultivo donde el contenido de fertilizantes condiciona en gran medida la cantidad y calidad de producción.

Se seleccionaron las parcelas en las que se iban a llevar a cabo este estudio, una vez determinada su localización se recopiló información respecto a tipo de suelo, análisis de riegos, registro histórico de cultivos. Parte de esta información se facilitó a través de la utilización de la plataforma sigAgroAsesor de INTIA.

La parcelas estaba situada en Funes, parcela 325 del polígono 13, se recopiló información referente a la cantidad y riqueza en NPK (Nitratos, Fosforo y Potasio) de la materia orgánica en las tres últimas campañas (figura 12).

Además se realizaron diferentes calicatas para analizar la composición, pendiente general, pendiente particular, geomorfología, drenaje superficial, uso y aprovechamiento. Se obtuvo la descripción morfológica así como la composición química y tipo de material, determinando especialmente el contenido de materia orgánica e incluso el contenido NPK.

Se realizó también un muestreo en dos fechas determinadas y en siete puntos de la parcela para comprobar el contenido de nitratos mínimo que determinará la ubicación final de las parcelas de ensayo y la necesidad de aporte de N en fondo, al final se decidió no realizar aporte de N en fondo.

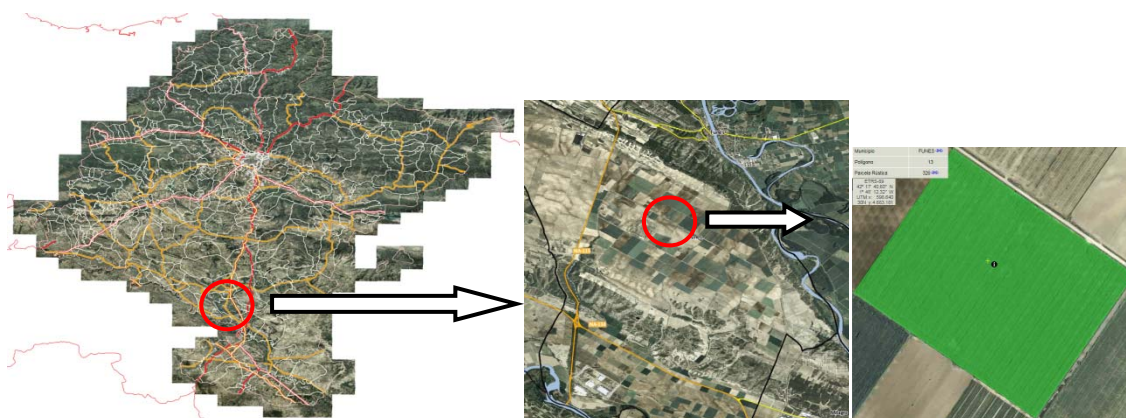


Figura 12: Planos de localización de la parcela de Funes

En la zona más homogénea de la parcela principal se realizó el marcaje de 21 subparcelas para ensayos con un abonado diferencial del resto, cada una de ellas de 90 m<sup>2</sup> (5x18 metros, figura 13).

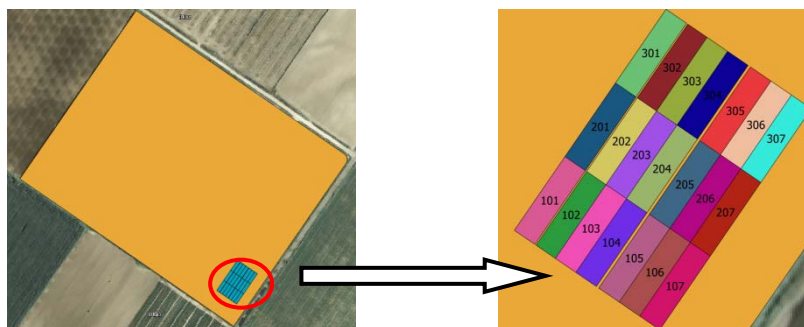


Figura 13: Áreas de experimentación

A cada una de estas supparcelas se aplicó un tratamiento específico, su descripción se adjunta en la siguiente tabla:

Tratamiento	N Total	1ª cob	2ª cob	3ª cob	4ªcob	objetivo:Curva+ calibración nitratos
Estado Fenológico		16	30	45		
Fecha prevista		23/01/2017	17/02/2017	02/03/2017		
1	0	0	0	0	-	
2	R-80	99	33	33	33	-
3	R-40	141	47	47	47	-
4	R	180	60	60	60	-
5	R+118	298	73	100	125	40
6	R+50	230	60	85	85	40
7	R	180	60	60	60	40
						BIOMASA

Tabla 10: Tratamiento individual por parcela

R es la dosis recomendada de cobertera. La dosis de Nitrato se repetirá en tres dosis iguales. Los momentos de aplicación serán; 1ª cobertera con espinaca en 6 hojas, 2ª cobertera 18/20 días después; 3ª cobertera 12/15 días antes de la recolección. El tratamiento 5, 6, y 7 podrían incluir una 4ª cobertera con 40 UFN (unidades de fertilizante nitrogenado) justo antes de la cosecha, con el fin de mejorar el color de las espinacas. Las parcelas 7 se utilizarán para tomar las muestras de biomasa y determinar las extracciones de nitrógeno.

Se adjunta un croquis con las parcelas y sus tratamientos correspondientes:

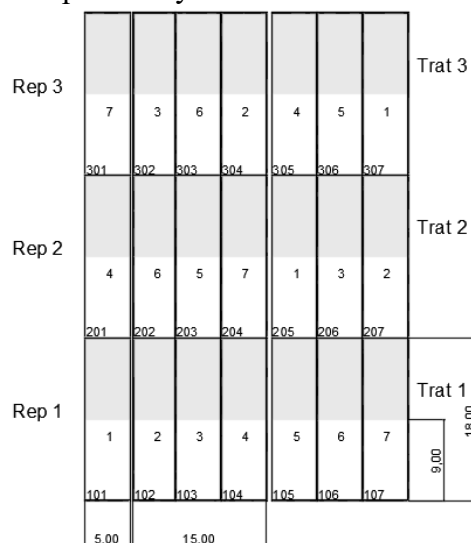


Figura 14: Parcelas y tratamientos

Se realizaron distintos vuelos en fechas, recorridos y alturas diferentes mediante UAV, se obtuvieron mosaicos de reflectancia de la zona de estudio del 1 de Marzo del 2017 para la banda del verde 550 nm, rojo 660 nm, red edge 735 nm e infrarrojo cercano 790 nm.

A partir de estos mosaicos de reflectancia se obtuvieron distintos índices de vegetación, GVI, RVI, SAVI, GNDVI, TVI\_REG, TVI\_NIR.



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

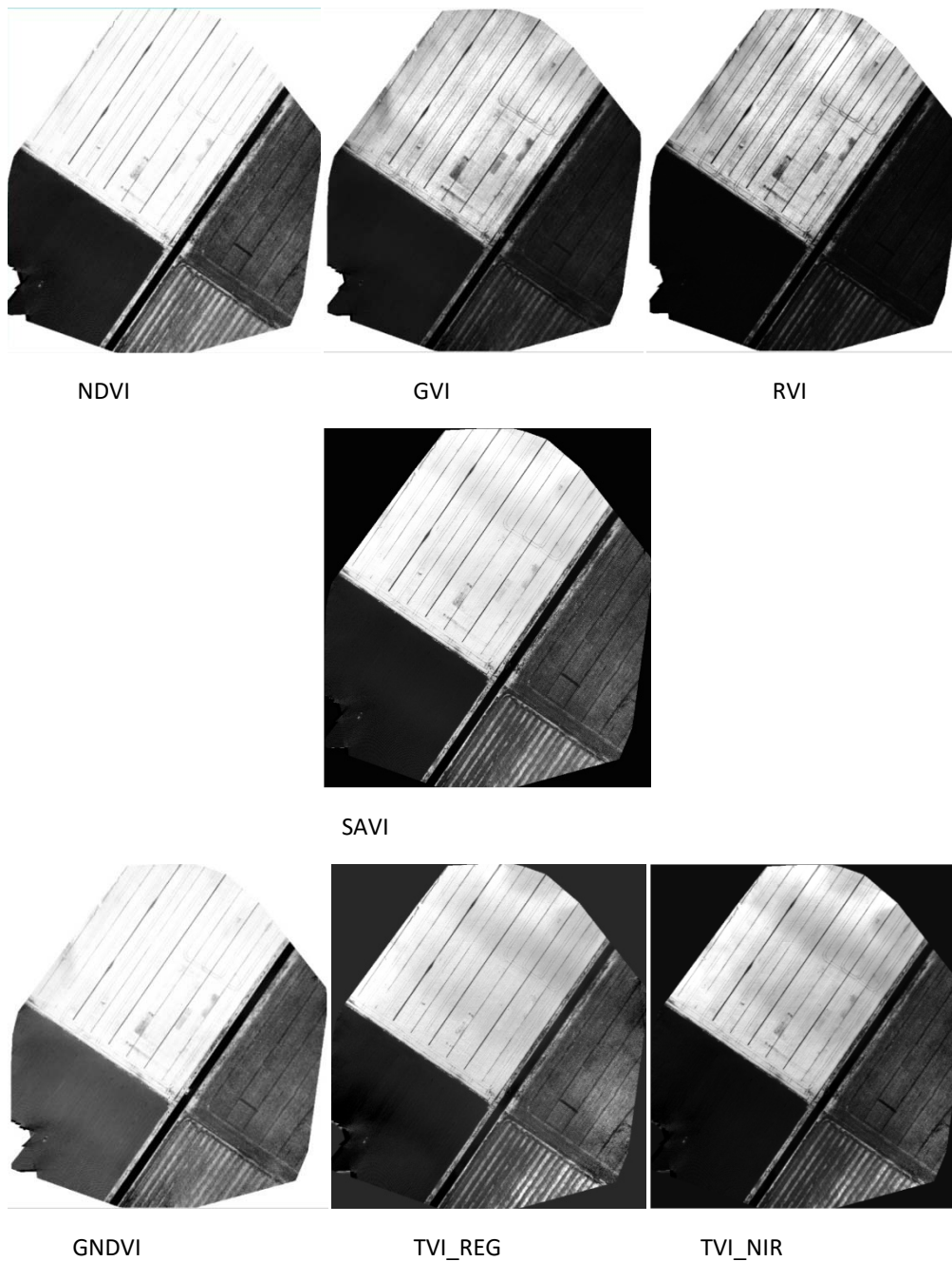


Figura 15: Índices de vegetación

De estas imágenes se extrajeron los mínimos, máximos, medias y desviaciones típicas para cada una de las áreas de experimentación.

Se adjuntan las medias de cada índice de vegetación y subparcelas:

	NDVI	GNDVI	SAVI	GVI	RVI	TVI_NIR	TVI_Red_Edge	
<b>Parc101</b>	0,76	0,685	0,670	5,600	8,497	34,030	24,940	Trat 1
<b>Parc102</b>	0,87	0,785	0,794	8,480	15,397	42,132	26,591	Trat 2
<b>Parc103</b>	0,88	0,795	0,804	8,839	16,222	42,823	26,360	Trat 3
<b>Parc104</b>	0,88	0,788	0,789	8,519	15,482	41,165	25,593	Trat 4
<b>Parc105</b>	0,86	0,784	0,782	8,704	16,266	41,174	24,547	Trat 5

Tabla 11: Medias de índices de vegetación por parcela

	NDVI	GNDVI	SAVI	GVI	RVI	TVI_NIR	TVI_Red_Edge	
Parc106	0,89	0,797	0,815	8,891	17,083	43,833	26,110	Trat 6
Parc107	0,88	0,787	0,805	8,519	16,491	43,012	26,174	Trat 7
Parc201	0,89	0,812	0,790	9,757	17,119	40,216	25,605	Trat 4
Parc202	0,88	0,806	0,786	9,532	17,063	40,317	25,182	Trat 6
Parc203	0,89	0,808	0,796	9,505	16,971	41,139	25,508	Trat 5
Parc204	0,88	0,800	0,780	9,118	16,260	39,507	24,805	Trat 7
Parc205	0,82	0,731	0,707	6,714	12,023	34,914	24,516	Trat 1
Parc206	0,89	0,804	0,785	9,298	17,167	39,748	24,550	Trat 3
Parc207	0,88	0,785	0,765	8,414	15,708	38,081	24,932	Trat 2
Parc301	0,89	0,811	0,813	9,733	17,682	43,170	27,068	Trat 7
Parc302	0,89	0,808	0,814	9,611	17,887	43,513	26,939	Trat 3
Parc303	0,89	0,816	0,828	9,970	18,153	44,948	27,164	Trat 6
Parc304	0,88	0,798	0,796	9,008	16,217	41,543	26,589	Trat 2
Parc305	0,87	0,807	0,787	9,865	17,826	40,760	24,643	Trat 4
Parc306	0,89	0,818	0,807	10,090	18,202	41,999	25,536	Trat 5
Parc307	0,83	0,739	0,713	6,967	12,069	34,979	25,284	Trat 1

Tabla 11: cont.

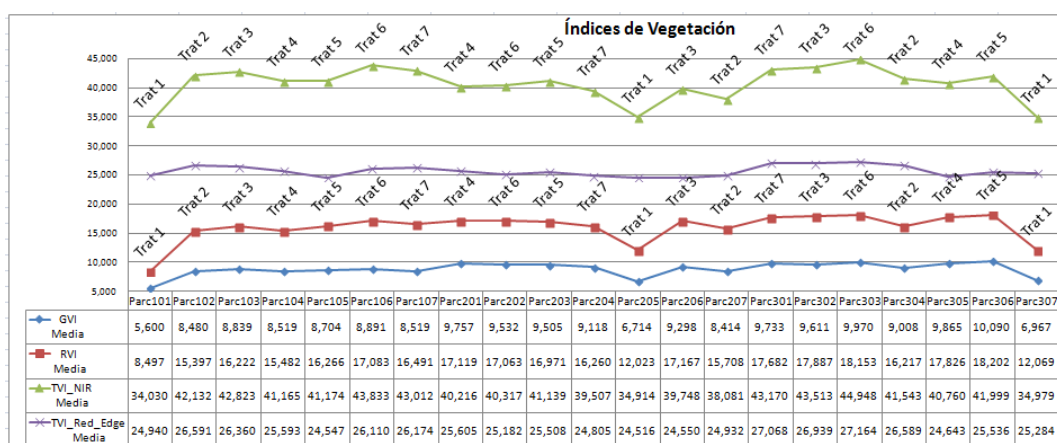
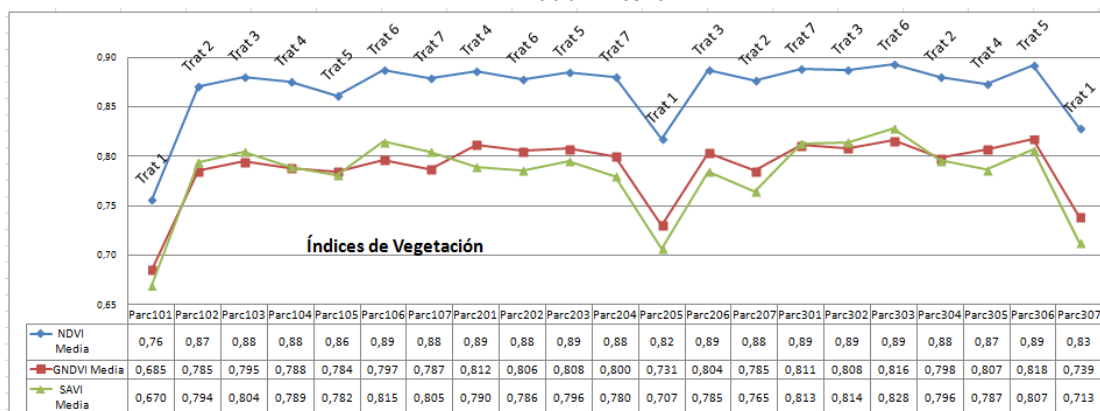


Figura 16: Gráficos índices de vegetación

Como se observa en las tablas y gráficos anteriores, prácticamente no existe cambios entre los valores de los índices, salvo en las parcelas con tratamiento 1 y el resto, que es donde no se ha aplicado nitrato, parcelas 101,205 y 307, que se aprecia unos valores ligeramente más bajos. Mientras que para el resto de las parcelas no hay grandes variaciones.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Una vez analizados los resultados obtenidos no se llegó a establecer una relación entre los índices de vegetación de todos los que se ha estudiado que nos permita distinguir claramente los cultivos con tratamientos con distinto contenido de nitratos, salvo aquellas parcelas que no han sido sometidas a ningún tipo de tratamiento y el resto, que son las que tienen índices ligeramente más bajos, aunque estas diferencias tampoco son excesivamente grandes.



## 2- Objetivos

Debido a los resultados obtenidos en los trabajos anteriores en el cultivo de espinacas se estudiaron formas alternativas para elaborar un procedimiento a partir del cual poder controlar el tratamiento de fertilizantes en un determinado cultivo, en este caso se realizaría el seguimiento en una parcela de maíz dulce destinado a envasado para consumo humano. El procedimiento a seguir fue distinto que el realizado en el trabajo anterior y descrito en el punto 1.6 de este documento, se realizó el seguimiento del cultivo de maíz desde su siembra hasta prácticamente la fecha de la cosecha, para ello se efectuaron vuelos aproximadamente cada 7-10 días con el propósito de controlar su desarrollo, obteniendo en cada uno de los vuelos imágenes en RGB y multiespectrales, a partir de las cuales se generaron mapas de modelos digitales de superficie e índices de vegetación. Por un lado se compararán los modelos digitales de superficie para analizar cómo evoluciona el crecimiento teniendo en cuenta las variables de temperaturas y aportes de agua y fertilizantes. También se contrastarán y analizarán las diferencias entre los mapas de índice de vegetación considerando las mismas variables.

### 3- Materiales y métodos

#### 3.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la parcela 361 polígono 1 en el paraje denominado Melenas, en el término municipal de Valtierra de la Ribera de Navarra ( $1^{\circ}40'9.17954$  W,  $42^{\circ}12'22.86126$  N en coordenadas geodésicas ETRS89 ó 609856.513, 4673544.644 en proyección UTM 30N). La parcela está prácticamente a nivel, con una cota media de 264.60 metros sobre el nivel medio del mar en Alicante.

Esta zona tiene el clima mediterráneo continentalizado del Valle del Ebro. Las montañas periféricas lo aíslan de las influencias oceánicas, aumentando la continentalización (inviernos fríos y veranos calurosos) y disminuyendo las precipitaciones. La aridez es uno de los principales rasgos del clima de esta zona. Las lluvias son escasas y presentan una fuerte irregularidad intermensual e interanual, con largos períodos en los que no se registra precipitación alguna. La precipitación acumulada media anual no supera los 500 l/m<sup>2</sup>, y es inferior a 400 l/m<sup>2</sup>. La temperatura media anual varía entre 13,5 y 14,4°C de norte a sur. El viento es otro elemento destacado del Valle del Ebro, siendo el sentido más frecuente de noroeste a sureste. Se trata del llamado cierzo, viento frío y seco que aparece cuando en el Mediterráneo occidental se forma una borrasca, mientras el Atlántico oriental está ocupado por altas presiones. Puede presentarse en cualquier época del año, pero es más frecuente en primavera.

La insolación es la más alta de Navarra, desde 2.250 horas al año en el norte y oeste hasta cerca de 2.800 en el extremo sur.

Se trata de una zona de terrazas, muy cercana al Río Ebro, por lo que es susceptible de ser inundado por su desbordamiento, depositando en su retirada buena parte de la materia orgánica que transporta, dando a este terreno unas características para la agricultura inmejorables.

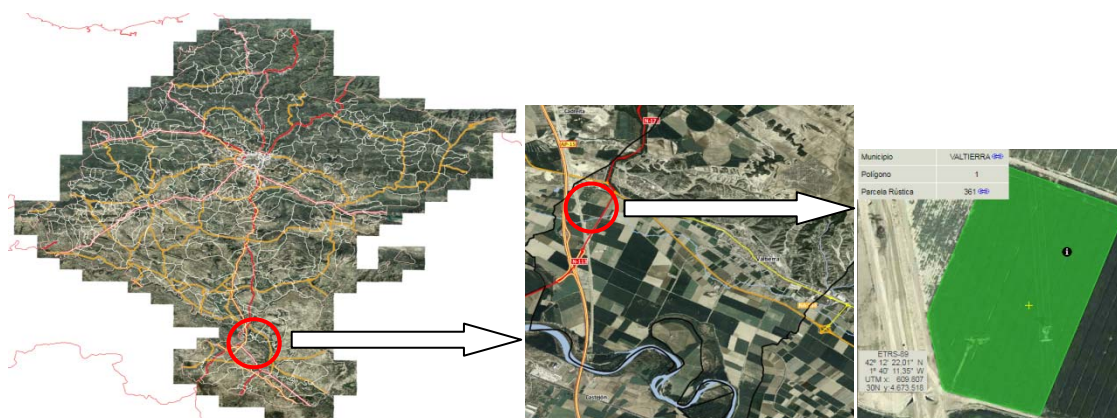


Figura 17: Zona de estudio

Se definió una superficie rectangular de aproximadamente 39x50 m<sup>2</sup> como área de ensayos, limitado por las coordenadas ETRS89  $1^{\circ}40'10.05035$  W,  $42^{\circ}12'23.66118$  N y  $1^{\circ}40'8.39327$  W,  $42^{\circ}12'22.0343$  N esquina noroeste y sureste respectivamente, ó 609836.159, 4673569.005 y 609874.941, 4673519.420 en UTM 30N.

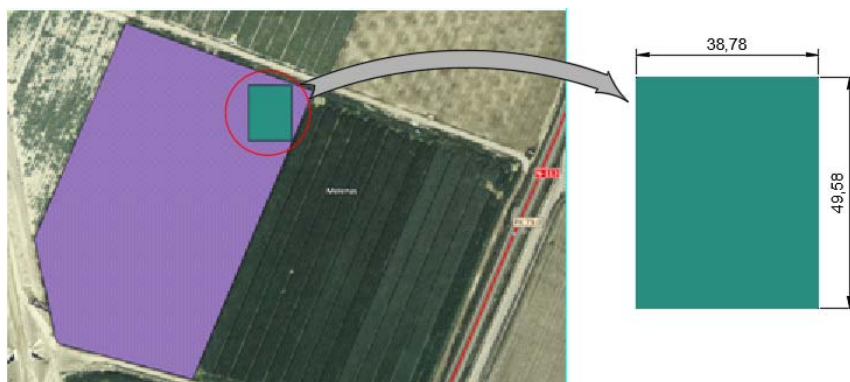


Figura 18: Área de ensayos

### 3.2 Características del cultivo

El cultivo que va ser objeto de este estudio va a ser maíz dulce con destino al consumo humano. Se trata de la variedad “Operture” de 80-90 días de ciclo, el ciclo se puede acortar o alargar ligeramente en función de la fecha de siembra y climatología.

La siembra se efectuó el 3 de Julio, previamente no se realizó ningún aporte de fertilizante de fondo, se consideró suficiente el remanente de digestato (contiene 9 Kg/t Nitrógeno (N), 13 de Fosforo P205, 4 de Potasio K20 y 8 de Magnesio (MgO) aportado en la campaña anterior, 18 t/ha) posteriormente se suministró 400 kg/ha de urea al 46 % de N en cobertera, y finalmente se añadió 280 kg/ha de nitrato líquido al 26 % en el riego.

El riego aplicado hasta el 12 de Septiembre mediante el sistema de aspersión fue de 24 litros por m<sup>2</sup> (lt/m<sup>2</sup>) justo realizada la siembra en dos días, 42 lt/m<sup>2</sup> los siete días siguientes, cuando se aportó la urea se regó con 12 lt/m<sup>2</sup> y desde el 26 de Julio 50lt/m<sup>2</sup> a la semana.

Riego	Fertilizante	Fechas
	Digestato remanente	Antes de la siembra
24 lt/m <sup>2</sup> (12 lt/m <sup>2</sup> /día)		3-4 Julio
42 lt/m <sup>2</sup> (6lt/m <sup>2</sup> /día)		5-6-7-8-9-10-11 Julio
	400 kg/ha de Urea al 46% en cobertera	18 Julio
12 lt/m <sup>2</sup>		19-20 Julio
257.14lt/m <sup>2</sup> (50lt/m <sup>2</sup> /semana)		26 Julio a 30 Agosto
	280 kg/ha de Nitrato Líquido al 26 %, aplicado a través del riego	30 Agosto
85.71lt/m <sup>2</sup> (50lt/m <sup>2</sup> /semana)		31 Agosto a 11 Sept

Tabla 12: Cuadro de riego y fertilizantes

A esto habría que añadir el agua de lluvia, que en este periodo no fue muy frecuente. De acuerdo a la estación meteorológica de INTIA en Cadreita, la precipitación media en todo el mes de Julio fue de 1lt/m<sup>2</sup> en Julio, 39 lt/m<sup>2</sup> en Agosto, y 2 lt/m<sup>2</sup> en Septiembre. Posteriormente habrá que asignar la temperatura media y precipitación para cada uno de los vuelos.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

### 3.3 Material utilizado

El equipo utilizado para realizar los vuelos y georeferenciar las imágenes fue facilitado por la empresa FUVEX.

Para los vuelos se utilizó el UAV Phantom 3 Professional de la empresa DJI. Este equipo viene de fábrica con una cámara RGB, al que FUVEX le había montado un sensor adicional, el sensor multiespectral Parrot Sequoia. A continuación se adjuntan dos imágenes del Phantom 3 de fábrica, y con el sensor Sequoia montado.



Figura 19: Phantom 3 Professional de fábrica (Iqda.) y con el sensor Parrot Sequoia (Dcha.)

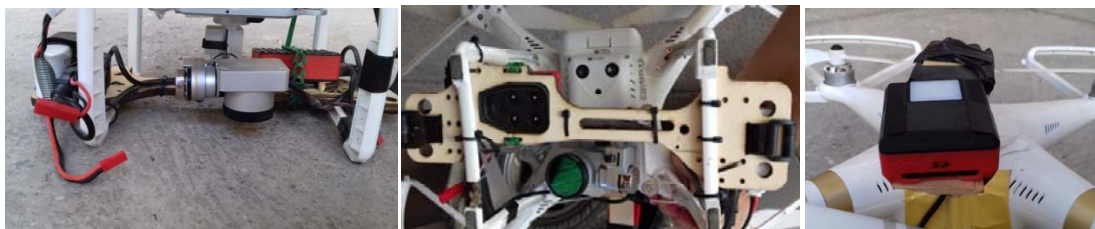


Figura 20: Detalles del montaje del sensor Sequoia y el sensor de luz (Dcha.) en el Phantom 3

Las características del Phantom 3 Professional son las siguientes(DJI, Phantom 3 Pro, 2017):

- Aeronave:
  - o Peso (batería y hélices incluidas): 1.28 Kg
  - o Tamaño de la diagonal (hélices excluidas): 350 mm
  - o Velocidad máx de ascenso y descenso: 5 y 3 m/s respectivamente
  - o Velocidad máx: 16 m/s (modo ATTI)
  - o Ángulo de inclinación máximo: 35 °
  - o Velocidad angular máxima: 150 °/s
  - o Max servicio techo sobre el nivel del mar: 6000 m
  - o Tiempo de vuelo máx aproximado: 23 minutos
  - o Rango de temperatura de funcionamiento: 0° a 40°
  - o Sistemas de posicionamiento por satélite: GPS/GLONASS
  - o Rango de precisión de la maniobra vertical:  $\pm 0.1$  m (con posicionamiento de visión),  $\pm 0.5$  m (con posicionamiento GPS).
  - o Rango de precisión de la maniobra horizontal:  $\pm 0.3$  m (con posicionamiento de visión),  $\pm 1.5$  m (con posicionamiento de GPS).
- Gimbal:
  - o Estabilización de 3 ejes: pitch, roll y yaw.

- Alcance controlable Pitch:  $-90^{\circ}$  a  $+30^{\circ}$
- Máx velocidad angular controlable:  $90^{\circ}/s$
- Precisión de control angular  $\pm 0.02^{\circ}$
- Control Remoto:
  - Frecuencia de funcionamiento: 2400-2483 GHz
  - Máx Distancia de transmisión: conformidad con la FCC 5 km, conformidad con CE 3.5 km, sin obstrucciones, libres de interferencias
  - Rango de temperatura de funcionamiento:  $0^{\circ}$  a  $40^{\circ}\text{C}$
  - Batería: 6000 mAh LiPo 2S
  - Potencia de transmisor (EIRP): FCC 20 dBm, CE 16 dBm, MIC 16 dBm
  - Voltaje de funcionamiento: 1.2A@7.4V
  - Puerto de salida de video: USB
  - Soporte para dispositivos móviles : tabletas y Smartphone
- Baterías inteligentes de vuelo:
  - Frecuencia de funcionamiento: 2400-2483 GHz
  - Voltaje: 15.2 V
  - Tipo de batería: LiPo 4S
  - Energía : 68 Wh
  - Peso Neto: 365 g
  - Rango de temperatura de carga:  $5^{\circ}$  a  $40^{\circ}\text{C}$
  - Potencia máxima: 100W
- Cámara:
  - Sensor: 1/2.3'' CMOS
  - Píxeles efectivos: 12.4Mp (píxeles totales: 12.76 Mp)
  - Lentes: FOV  $94^{\circ}$  20mm (equivalente formato 35mm) f/2.8 enfoque al  $\infty$
  - Rango ISO: 100-3200 (video), 100-1600 (foto)
  - Velocidad de obturación electrónica: 8-1/8000 s
  - Tamaño de la imagen: 4000x3000
  - Modo de fotografía fija: un solo tiro, en ráfaga 3/5/7 frames, bracketing de exposición automática (AEB) 3/5 frames a 0.7 EV Bias, lapso de tiempo.
  - Modo de grabación de video:
    - UHD: 4096x2160p 24/25, 3840x2160p 24/25/30
    - FHD: 1920x1080p 24/25/30/48/50/60
    - HD: 1280x720p 24/25/30/48/50/60
  - Bitrate máx de video: 60 Mbps
  - Sistema de archivos compatibles: FAT32 ( $\leq 32\text{GB}$ ), exFAT ( $> 32\text{GB}$ ).
  - Foto: JPEG, DNG(RAW)
  - Video: MP4, MOV(MPEG-4 AVC/H.264)
  - Tarjetas SD y MicroSD soportadas: MicroSD, Máx capacidad 64 GB, Clase 10 o UHS-1 calificación requerida.
  - Rango de temperaturas de operación:  $0^{\circ}$  a  $40^{\circ}\text{C}$

La toma de las imágenes además de utilizar el sensor RGB que trae por defecto el Phantom 3 se incorporó un sensor Parrot Sequoia, está compuesta por un sensor multispectral, que recoge información en cuatro zonas del espectro electromagnético (verde,



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

rojo, red edge e infrarrojo cercano) y otro sensor RGB. Además de esto tiene un sensor solar externo que permite calibrar las imágenes en función de la incidencia solar, de tal forma que es posible comparar las imágenes en el tiempo, pese a las variaciones de luz durante la toma.



Figura 21: Sensor Parrot Sequoia (Parrot Sequoia, 2017)

Las especificaciones técnicas del sensor Sequoia son:

- Dimensiones y características:
  - o 59 x 41x28 mm
  - o 72 gr de peso
  - o Hasta 1 fps
  - o Almacenamiento incorporado de 64 GB
  - o IMU & Magnetómetro
  - o 5 W a 12 W
- Sensor solar:
  - o 4 sensores espectrales
  - o GPS
  - o IMU & Magnetómetro
  - o 47x39.6x18.5 mm
  - o 35 gr
  - o 1 W
- Sensor multispectral:
  - o 4 bandas : verde (550 nm, ancho de banda 40 nm), rojo (660 nm, ancho de banda 40 nm, red edge (735 nm, ancho de banda 10 nm) e infrarrojo cercano (790 nm, ancho de banda 40 nm)
  - o Resolución: 1280x960 pixels (1.2 Mp)
  - o Tamaño del sensor: 4.6x3.6 mm
  - o Tamaño del pixel: 3.75  $\mu\text{m}$
  - o Focal: 3.98 mm
  - o HFOV:61.9 °, VFOV:48.5 °, DFOV:73.7 °

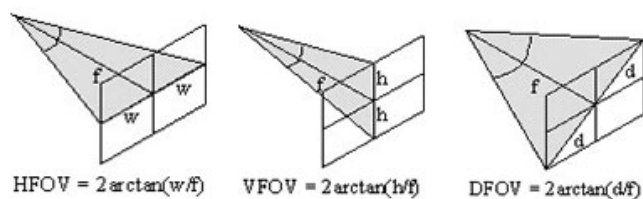


Figura 22: Campos de visión horizontal, vertical y de pantalla

- Sensor RGB:
  - o Resolución: 4608x3456 pixels (12 Mp)
  - o Focal: 4.88 mm
  - o Tamaño del pixel: 1.34  $\mu\text{m}$
  - o Tamaño del sensor: 6.2x4.6 mm

Las coordenadas de los puntos de apoyo se obtuvieron mediante un GPS de la marca TOPCON modelo Hiper V, se trata de un GPS que puede trabajar en modo RTK conectándose a la Red de Geodesia del Gobierno de Navarra (RGAN), consiguiendo precisiones centimétricas.

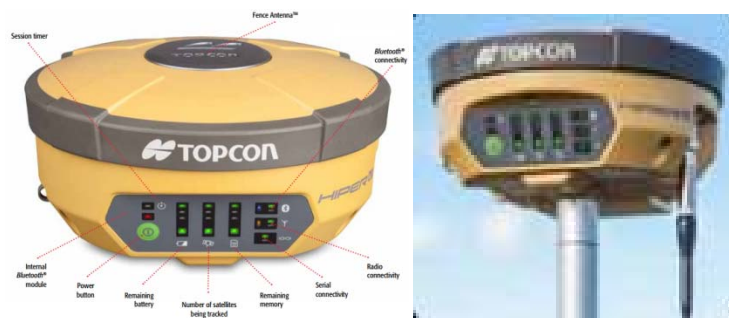


Figura 23: Receptor GPS Hiper V de Topcon (Topcon, 2017)

Las características técnicas del Hiper V:

- Capacidad de rastreo:
  - o 226 canales con tecnología Universal Tracking
  - o GPS: L1, L2, L2C
  - o GLONASS: L1, L2
  - o SBAS: L1 C/A WAAS/MSAS/EGNOS/GAGAN
  - o QZSS: L1 C/A
- Precisión de posicionamiento:
  - o Estático/estático rápido: H 3 mm + 0.4 ppm, V 5 mm + 0.5 ppm
  - o Precisión estática: H 3 mm + 0.1 ppm, V 3.5 mm + 0.4 ppm
  - o RTK (L1+L2): H 5 mm + 0.5 ppm, V 10 mm + 0.8 ppm
  - o DGPS: < 0.5 m
- Comunicación:
  - o Bluetooth: V2.1 + EDR, Clase 2, 115, 200 bps
  - o Radio: UHF, Amplio Espectro, Celular (opciones)
  - o Celular: HSPA+/CDMA integrado
- Datos ambientales:
  - o 4 bandas
  - o Temp de funcionamiento: alimentación externa de -40° C a 65° C, batería de -20° C a 65° C, Celular de -20° C a 65° C
  - o Protección frente a polvo/agua: IP67
- Características físicas:
  - o Recinto: carcasa de aleación de magnesio
  - o Tamaño (p x a): 184x95mm

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

- Peso (Hiper V): de 1.0 Kg a 1.28 Kg
- Batería (BDC70): 195 g
- Alimentación:
  - Batería estándar: batería recargable extraíble de iones de litio de 7.2 V, 4.3 Ah
  - Tiempo de funcionamiento a 20° C: >7.5 horas en modo estático con conexión Bluetooth.
  - Tensión de entrada de alimentación externa: de 6.7 a 18 V CC.

El tipo de software informático utilizado fue muy diverso, dentro de los cuales habría que mencionar:

- UGCS (software para planificación de vuelos): es un software comercial de control de tierra totalmente funcional para drones, se ejecuta en PC. Proporciona todas las herramientas necesarias para planificar las inspecciones aéreas, controlar drones directamente, monitorizar la telemetría, ver y grabar videos en línea y hacer análisis post-vuelo (SPH Engineering (UGGS), 2017).



Figura 24: UGCS, software de planificación de vuelo

- MAGNET Field: el Hiper V no disponía de controladora por ello se debía utilizar un ordenador portátil conectado por cable y utilizando el software de Topcon Magnet Field, accedíamos al GPS para configurarlo, conectarnos a RGAN, grabar los puntos y descargarlos.



Figura 25: MAGNET Field, software de campo para Topcon

- Python: se trata de un lenguaje de programación gratuito que se utilizó para implementar algunas utilidades que nos permitieron pre-procesar los datos de campo para facilitar y agilizar el procesamiento.



Figura 26: PYTHON, software de programación



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

- ExifToolGui: es un software gratuito que nos da acceso a los metadatos de la imagen. A través de este programa accederemos a los metadatos de las imágenes con Python.



Figura 27: ExifToolGui, software de acceso metadatos

- AutoCAD: se trata de un programa comercial de diseño gráfico. Se utilizará para hacer pequeñas tareas, como puede ser seleccionar las imágenes multiespectrales que se van a procesar, crear las alineaciones de maíz sobre la parcela, etc.



Figura 28: AutoCAD, software de diseño gráfico

- TcpMDT: se trata de un programa comercial que sirve de ayuda en todas las fases de realización de un proyecto de carreteras, urbanizaciones, canteras, minas, etc. Se utilizará para generar superficies a partir de los ficheros de puntos generados.



Figura 29: TcpMDT, software de diseño gráfico

- Pix4d: este software comercial nos va a permitir interpretar distintas imágenes RGB o multiespectrales procesarlas y obtener distintos productos como pueden ser modelos digitales de elevaciones, ortomosaicos, mapas de reflectancia, mapas de índices de vegetación, etc. Se utilizará fundamentalmente para obtener los mapas de reflectancia e índices de vegetación.



Figura 30: Pix4d, software de procesado imágenes

- PhotoScan (Agisoft): este software comercial realiza prácticamente el mismo trabajo que el anterior. Se utilizará para obtener los modelos digitales de elevaciones.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

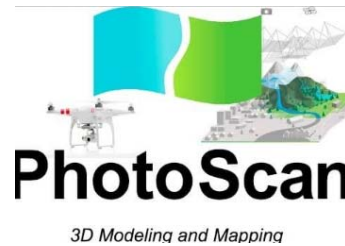


Figura 31: PhotoScan, software de procesado imágenes

- QGIS: es un sistema de información geográfica de código libre para distintos tipos de plataforma (Unix, Windows, etc). Se utilizó para definir el buffer de las alineaciones de maíz, y extraer la información de este buffer de los distintos modelos digitales de superficie y mapas de índices de vegetación.



Figura 32: QGIS, sistema de información geográfica

- ENVI: se trata de un software comercial especializado en el procesamiento y análisis de imágenes geoespaciales utilizado por multitud de profesionales. Fue utilizado principalmente para extraer estadísticas.

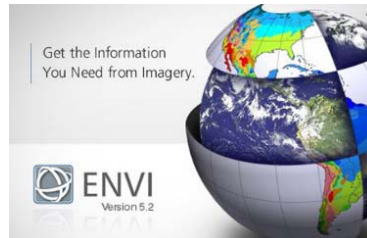


Figura 33: ENVI, procesamiento y análisis de imágenes

- Microsoft Office: se trata de un paquete informático para oficina que engloba distintos programas como un procesador de texto (Word), hojas de cálculo (Excel), etc.



Figura 34: Microsoft Office, paquete informático de oficina

### 3.4 Metodología

Se quiere estudiar la viabilidad de un nuevo procedimiento para el análisis de fertilizantes en el cultivo, obteniendo los modelos digitales y los índices de vegetación para compararlos y poder extraer conclusiones.

El trabajo se desarrolla en base a la captura y procesamiento de imágenes. Se pretende realizar vuelos con drón para recoger las imágenes a lo largo del periodo de cultivo del maíz dulce en este caso.

En la finca de cultivo se colocaron elementos de control de los cuales se medirá su posición mediante GPS con precisión centimétrica. Se realizará un pre-procesamiento de las imágenes recogidas, extrayendo las más adecuadas para el propósito del trabajo, quedándose solamente con las imágenes necesarias y suficientes, sobre todo debido al coste computacional que supone el procesamiento de gran cantidad de información.

Una vez seleccionado el conjunto de imágenes, se procesan mediante las herramientas PIX4D y PhotoScan. A partir de los resultados obtenidos de índices vegetales, etc. se buscarán las relaciones estadísticas entre dichos índices y las aportaciones de fertilizante que se hagan al campo.

El proceso completo de captura, selección y procesamiento se realizará de forma regular a lo largo de la campaña del cultivo, para poder disponer de un histórico de datos con los que trabajar.

Distinguiremos por un lado la metodología para calcular los modelos digitales de superficie que se obtienen a partir de imágenes RGB y la utilizada para calcular los índices de vegetación a partir de imágenes multiespectrales. Estos dos procesos tienen la fase de captación de datos en común pero utilizando sensores diferentes y en la fase de obtención de los distintos productos no utilizan los mismos softwares y procedimientos.

La obtención de las imágenes se divide en cuatro fases:

1. Señalización y observación puntos de apoyo
2. Planificación y vuelo.
3. Pre-procesado de datos
  - 3.1- Imágenes RGB
  - 3.2- Imágenes multiespectrales
4. Procesado de los datos y obtención productos finales, se distingue entre:
  - 3.1- Imágenes RGB
  - 3.2- Imágenes multiespectrales

#### 3.4.1 Señalización y observación puntos de apoyo

Como se ha comentado anteriormente el Phantom 3 está equipado con GPS, así como el sensor Sequoia y el sensor solar, pero la precisión absoluta que nos dan es como mínimo de 1 metro. Por eso es necesario situar una serie de puntos de control, a los cuales daremos coordenadas X-Y-Z con precisión submétrica (del orden de 1-3 cm) mediante el GPS Hiper V. Estos puntos se recogerán en las imágenes en el momento del vuelo y se utilizarán para realizar la transformación del conjunto de imágenes con precisión métrica a un modelo con precisión submétrica, permitiéndonos por tanto comparar los productos obtenidos en distintas fechas con una mayor precisión.

Los puntos se ubicarán homogéneamente distribuidos por la zona que se va a volar, cuatro por el perímetro y dos más hacia la línea central, seis en total.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

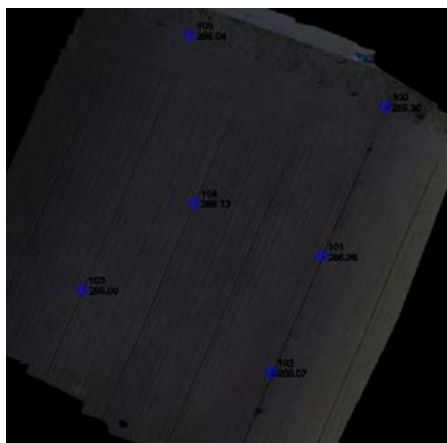


Figura 35: Ubicación de los puntos de apoyo en la parcela

La señalización se realizó de tal forma que sean perfectamente visibles a la altura de vuelo planificada y que no sea ocultado por el cultivo con forme vaya creciendo. Se diseñaron unas dianas metálicas de 25x25cm con un sistema para poder anclarlos al tubo de los aspersores, así se podían situar más altos o más bajos en función de lo que nos interese de acuerdo al desarrollo del cultivo.



Figura 36: Dianas de puntería, diseño y colocación.

El proceso de señalización y dar coordenadas se repetía para cada vuelo, las dianas se quitaban una vez realizado el vuelo ya que podían molestar cuando se hicieran las labores agrícolas.

Los primeros vuelos se realizaron a una altura de 24 y 40 metros sobre el terreno, también se hizo algún vuelo a 80 metros, con resoluciones a priori de 3, 5 y 10 cm respectivamente. Las dianas para cada una de esas alturas se veía en las imágenes RGB de la forma siguiente:



Figura 37: Imagen de las dianas a 24 mt sobre el suelo (Izqda.), 40 mt (Centro) y 80 mt (Dcha.)

Como se ve en las imágenes de la figura 37, las dimensiones y diseño de las dianas son perfectas para esas tres alturas, ya que nos permiten identificar perfectamente el centro que es donde se ha dado coordenadas con el GPS.

En las imágenes multiespectrales, en concreto en la del verde, las dianas se veían un poquito peor (figura 38).

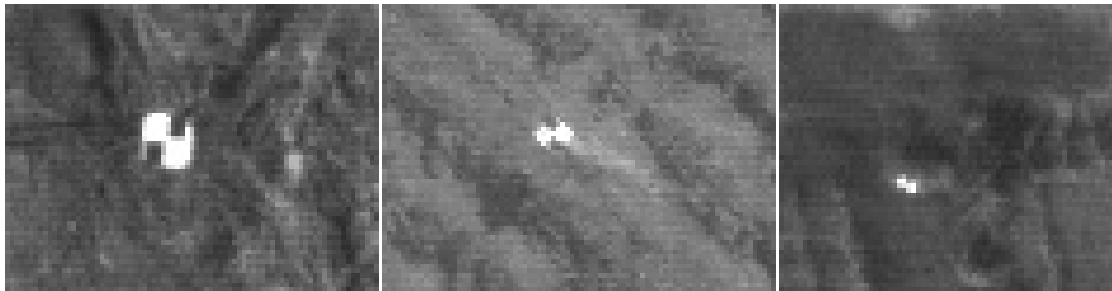


Figura 38: Imagen de las dianas a 24 mt sobre el suelo (Izqda.), 40 mt (Centro) y 80 mt (Dcha.)

### 3.4.2 Planificación y vuelo

#### 3.4.2.1 Planificación de los vuelos

Para realizar la planificación se utilizó el software UGCS, este software se utilizará también para mandarle la misión del ordenador al drón. Al preparar un vuelo es necesario tener claro varios conceptos, los más destacables son el GSD (Ground Sample Distance), intervalo de disparo, velocidad de vuelo, el recubrimiento transversal y recubrimiento longitudinal.

El GSD es la distancia que corresponde a cada pixel en el terreno, dependerá de la focal, la altura de vuelo y el tamaño del pixel en el sensor (figura 39).

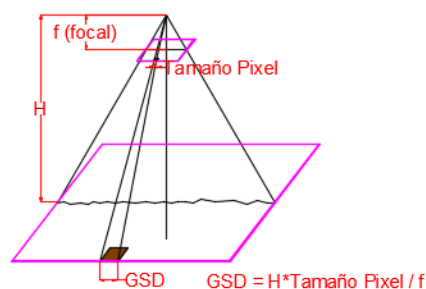


Figura 39: Gráfico toma fotogramétrica

El recubrimiento longitudinal es el % de superficie común entre fotografías consecutivas de la misma pasada (figura 40).

El recubrimiento transversal es el % de superficie común entre pasadas consecutivas.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

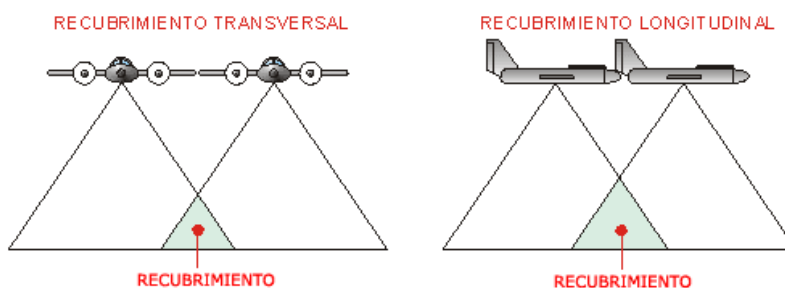


Figura 40: Gráfico recubrimiento transversal y longitudinal

El intervalo de disparo es el tiempo que transcurre entre la toma de cada fotografía. Dependerá de la velocidad del drón y del recubrimiento que queramos, a mayor velocidad y mayor recubrimiento menor tiempo entre disparos. Puede darse el caso que si la velocidad es muy alta o el recubrimiento muy grande, la cámara que disponemos no tenga capacidad para realizar los disparos en tan poco tiempo.

La velocidad del drón hay que tenerla muy en cuenta ya que afectará al intervalo de disparo, no conviene poner una velocidad muy grande ya que pueden salir las imágenes ligeramente movidas.

Mediante el programa UGCS seleccionamos la herramienta fotogramétrica y definimos los puntos donde queremos realizar el vuelo.

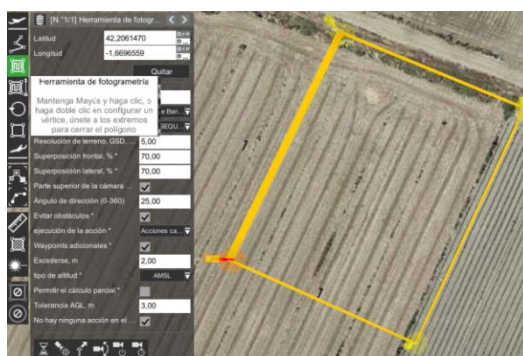


Figura 41: Gráfico recubrimiento transversal y longitudinal

Seleccionando cualquiera de los puntos introducidos podemos modificar las coordenadas si queremos afinar un poco más en el contorno (figura 42).

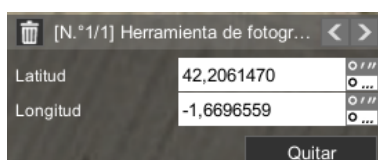


Figura 42: Selección y modificación de coordenadas de los vértices

Cuando definimos el perímetro tenemos la posibilidad de modificar o seleccionar una serie de parámetros como puede ser velocidad de vuelo, tipo de giro (adaptativo), carga de pago (Parrot Sequoia), resolución del terreno (gsd), solape transversal, longitudinal, dirección de las pasadas, etc (figura 43).





Figura 43: Parámetros configurables para la planificación del vuelo

Automáticamente en función de todos estos parámetros el programa te representa el recorrido del drón con todos los puntos en los que debería tomar las imágenes. Si cambiáramos la Resolución del terreno de 3 a 5 cm (figura 44), se calcularía un nuevo recorrido con nuevos puntos de toma, adaptándolo a la nueva superficie que cubriría cada imagen, lo mismo pasaría si modificamos los recubrimientos o la velocidad de vuelo.

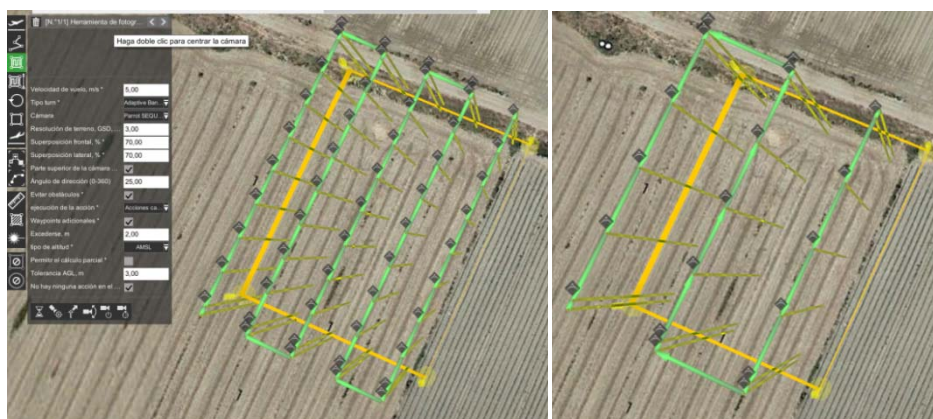


Figura 44: Modificación del trazado en función del GSD (Dcha. GSD = 3 cm, Izqda. GSD = 5 cm)

Esta planificación se hace cuando el drón lleva únicamente un sensor, que configuras el trazado de vuelo y los puntos de toma en función de la velocidad y el recubrimiento. Pero en el caso de que el drón lleve dos sensores como es nuestro caso, la planificación se hace para configurar el trazado en función de gsd y recubrimientos, y posteriormente en el momento del vuelo se configurará cada sensor definiendo fundamentalmente los tiempos de disparo.

Para este estudio se planificaron el primer día dos vuelos con 3 cm de resolución (altura de 24 m sobre el terreno) y con distintos ángulos de dirección para poder comparar el modelo

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

digital de superficie de los dos vuelos y ver las diferencias. El resto de los días se hizo un único vuelo a 24 metros para tener una resolución a priori de 3 cm aunque posteriormente se vió que era mayor.

### 3.4.2 Ejecución de los vuelos

Ya en campo, inicialmente se calibra la cámara Parrot Sequoia para pasar de niveles digitales a reflectancia. Esto se hace accediendo a la cámara a través del Wifi que lleva incorporado mediante la aplicación para Sequoia de Smartphone o a través de la dirección IP: 192.168.47.1, de uno u otro método accederíamos a la cámara y nos aparecería la siguiente página:

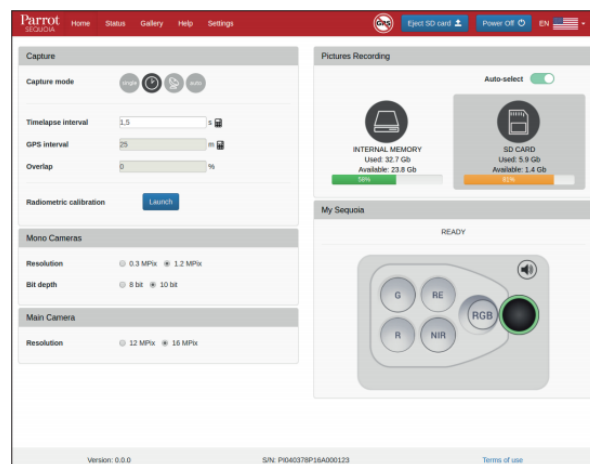


Figura 45: Página principal de la cámara Parrot Sequoia (Sequoia, 2017)

En esta página tenemos la posibilidad de capturar las imágenes de la tarjeta de calibración Airinov (figura 46) con la opción “Radiometric Calibration”, una vez seleccionado lo único que tenemos que hacer es seguir las instrucciones y automáticamente nos grabará en memoria 12 imágenes, 3 por cada una de las bandas (verde, rojo, red edge e infrarrojo cercano). Estas imágenes se utilizarán más adelante para obtener los mapas de reflectancia mediante el software correspondiente.



Figura 46: Tarjeta de calibración de Airinov

Además se puede activar y desactivar cada uno de los sensores, simplemente seleccionándolos. Para este estudio se desactivó el sensor RGB ya que teníamos el sensor RGB que traía el drón. También se puede configurar el modo de captura, en este caso se hizo por intervalo de disparo (figura 47), se puso el intervalo más pequeño posible que nos permitían estos sensores, 0.834 sg. Se podría haber hecho también definiendo la distancia entre disparos o el recubrimiento.



Figura 47: Selección del modo de captura

Mediante esta página le damos también la orden a la cámara para que vaya tomando las fotos.

Ahora accederemos al drón mediante el software UGCS configuraremos la cámara del Phantom 3 para que grabe video con una resolución 4 K, enviaremos la misión vía wifi y el drón realizará el vuelo de forma autónoma tomando las fotos en función de cómo lo hemos configurado anteriormente, las imágenes multiespectrales cada 0.834 segundos y las imágenes RGB en video. En el apartado siguiente se verá cómo se seleccionan las imágenes que nos interesan tanto RGB como multiespectrales eliminando aquellas que por una mala posición o una densidad excesiva no serían útiles.

A continuación se adjunta un listado con los vuelos realizados para este estudio:

Núm de vuelo	Fecha	Tipos de imágenes obtenidas	Altura de vuelo
1	4 Julio 2017	RGB y multiespectrales	24 mt
2	19 Julio 2017	RGB y multiespectrales	24 mt
3	1 Agosto 2017	RGB y multiespectrales	24 mt
4	12 Agosto 2017	RGB y multiespectrales	24 mt
5	23 Agosto 2017	RGB y multiespectrales	24 mt
6	29 Agosto 2017	RGB y multiespectrales	24 mt
7	5 Septiembre 2017	RGB y multiespectrales	24 mt
8	12 Septiembre 2017	RGB y multiespectrales	24 mt

Tabla 13: Tabla con número, fecha, tipos y altura de vuelo

### 3.4.3 Pre-procesado de datos

Según la forma en la que se ha configuración la toma de datos, las cámaras tanto la RGB como la multiespectral empiezan a tomar datos antes de iniciar el vuelo y después de aterrizar. De este modo se tendrá muchísima más información antes y después de los puntos en los que se debería tomar la primera y última imagen respectivamente. Para eliminar estas imágenes que nos sobran se ha utilizado pequeños programas en Python, el Exiftool para acceder a los metadatos y el Autocad para quitar las imágenes gráficamente.

La forma de actuar es distinta para la información en RGB que se tiene almacenada en video con resolución 4K y la información multiespectral que está en imágenes cada 0.834 sg. La selección de la información dependerá del solape longitudinal que queramos obtener en las imágenes.

### 3.4.3.1 Pre-procesado imágenes RGB

Tenemos un fichero de video 4K extensión “mov” por cada vuelo que se ha efectuado. De este vuelo se tiene que seleccionar únicamente el instante que recoge la parcela a restituir y además extraer los frames (imágenes que componen cada video) en función del recubrimiento. De acuerdo a la calidad de estos videos, está compuesto por 29.97 frames por segundo (fps), sería inviable trabajar con todos los frames, debido a las necesidades de procesamiento para calcular los modelos, además suponiendo una velocidad de 5 m/s se tomaría una imagen cada 0.17 m que aun volando a una altura muy baja tendríamos un recubrimiento excesivo. Para calcular el intervalo entre frames se utilizó una tabla que en función de las características del sensor, la velocidad del drón, el recubrimiento y la altura te calculaba la resolución, distancia-tiempo entre disparos e intervalo entre las imágenes. En nuestro caso para una altura aproximada de 24 metros, un recubrimiento de 80 %, y una velocidad de 5 m/s, tendríamos una resolución de 1.07 cm, distancia entre disparos 9.21 m, tiempo entre disparos 1.84 segundos, e intervalo entre frames de 27.62. El intervalo entre frames quiere decir que en el video habría que utilizar 1 imagen de cada 28, para tener un recubrimiento de 80 % de acuerdo a las características descritas anteriormente.

<b>Características Cámara:</b>	Sensor Sony EXMOR 1/2.3								
	focal:		3,61	(20mm)					
	dim sensor:	anchura	6,16						
		altura	4,62						
	dim fotograma:	anchura	3840						
		altura	2160						
	Tamaño de pixel:		1,54	µm					
	frames por segundo:		29,97	fps					
<b>Datos Vuelo:</b>	Altura (mt):	24	40	60	80	100	24	40	80
	Recubrimiento:	60	65	75	80	85	80	80	80
	Velocidad drón (m/sg):	5	5,5	6	6,5	7	5	5	5
	Resolución (cm):	1,07	1,78	2,67	3,55	4,44	1,07	1,78	3,55
	Dist entre disp (mt):	9,21	13,44	14,40	15,36	14,40	4,61	7,68	15,36
<b>Cálculos:</b>	Tiempo entre disparos (sg):	1,84	2,44	2,40	2,36	2,06	0,92	1,54	3,07
	Intervalo entre frames:	55,23	73,22	71,92	70,81	61,64	27,62	46,03	92,05

Tabla 14: Tabla para cálculo de parámetros de vuelo, sensor RGB

Con el intervalo entre frames obtenido de esta tabla ejecutaremos el programa de Python “Obten\_Img\_Videos.ipynb”, una parte de este programa se extrajo de los tutoriales de OpenCV, otra fue creada por Pablo Medrano colaborador de FUVEX y una pequeña parte fue modificada por el autor de este estudio (Open CV, 2017).

Una vez ejecutado el programa, te solicita la carpeta donde se encuentran los videos de los cuales queremos extraer las imágenes (figura 48), a continuación te pide el intervalo entre frames (parámetro calculado en la tabla), e intervalo de tiempo del cual extraerá las imágenes (figura 49).

```
Introduzca el directorio con los videos (r'c:/Users/Public/+++Trabajo Fin Master/Vuelos/04-07-17/Sony/'):
r'c:/Users/Public/+++Trabajo Fin Master/Vuelos/04
```

Figura 48: Entrada de carpeta de los videos donde extraer las imágenes

```

DJI_0004.MOV
Introduzca intervalo entre fotogramas para el video 1 (nº entero positivo): 25
Tiempo inicial para el video 1 (formato 'minutos:segundos'): '0:25'
Tiempo final para el video 1 (formato 'minutos:segundos'): '2:15'
DJI_0005.MOV
Introduzca intervalo entre fotogramas para el video 2 (nº entero positivo): 45
Tiempo inicial para el video 2 (formato 'minutos:segundos'): '0:36'
Tiempo final para el video 2 (formato 'minutos:segundos'): '1:45'

```

Figura 49: Definición de parámetros de extracción de imágenes

El resultado de estos es la creación de tantas carpetas como videos se tienen, y en cada una de ellos se almacenan las imágenes en formato jpg con el intervalo de frames y tiempo definidos. Estas imágenes son las que se utilizarán para obtener los modelos digitales de superficie.

### 3.4.3.2 Pre-procesado imágenes multiespectrales

En el caso de las imágenes multiespectrales, la orden de tomar imágenes se la damos mucho antes de que el drón esté situado en el punto correcto y sigue tomando mucho después de que haya pasado por el último punto. Nos sobrarán las imágenes que ha tomado en el punto de salida hasta llegar al primer punto y desde el último punto hasta que vuelva a llegar al punto de salida.

Para limpiar las imágenes debemos saber el intervalo entre disparos de acuerdo a la altura, velocidad y recubrimiento, esto se hace con otra tabla del mismo tipo que se usó con las imágenes en RGB.

<b>Características Cámara:</b>	Sensor Monocromo								
	focal:			3,98					
	dim sensor:	anchura	4,6						
		altura	3,6						
	dim fotograma:	anchura	1280						
		altura	960						
	Tamaño de pixel:		3,75	µm					
	intervalo entre disparos:		0,834	fps					
<b>Datos Vuelo:</b>	Altura (mt):	24	40	60	80	100	24	40	80
	Recubrimiento:	60	65	75	80	85	50	60	60
	Velocidad drón (m/sg):	5	5,5	6	6,5	7	5	5	5
	Recubrimiento transversal:	70	70	70	70	70	70	70	70
<b>Cálculos:</b>	Resolución (cm):	2,17	3,61	5,42	7,22	9,03	2,17	3,61	7,22
	Dist entre disp (mt):	8,32	12,14	13,00	13,87	13,00	10,40	13,87	27,74
	Tiempo entre disparos (sg):	1,66	2,21	2,17	2,13	1,86	2,08	2,77	5,55
	Intervalo entre frames:	1,39	1,84	1,81	1,78	1,55	1,74	2,31	4,63
	Distancia entre pasadas:	8,32	13,87	20,80	27,74	34,67	8,32	13,87	27,74

Tabla 15: Tabla para cálculo de parámetros de vuelo, sensor multiespectral

En esta tabla se ve que para una altura de vuelo de 24 m, un recubrimiento transversal de 50% y una velocidad del drón de 5 m/s tenemos un tiempo entre disparos de 2.08, si habíamos configurado la Sequoia para que captara información cada 0.834 s nos sobra al menos 2 de cada 3 fotos.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Para eliminar las imágenes en exceso se creó un programa en Python “Seleccionar imágenes multiesp posic\_tiempo.py”, al ejecutarlo te pide la carpeta donde se encuentran las imágenes que quieres limpiar (figura 50).

```
Introduzca el directorio con las imágenes (r'c:/Users/Public/+++Trabajo Fin Master/Vuelos/04-07-17/Sequoia/0010/'): 'c:/Users/Public/+++Trabajo Fin Master/Vuelos/01-08-17/Sequoia 2/0007/'
```

Figura 50: Entrada de carpeta para limpiar imágenes

El programa te recorrerá todas las imágenes existentes en esa carpeta, extrayendo para cada una de ellas los metadatos que nos interesan, la hora de toma y las coordenadas geodésicas (longitud, latitud y altura), para crear en esa misma carpeta un fichero cad denominado “drawing.dxf” que plasmará la posición de estas imágenes mediante un punto, y rodeado de tres textos, uno representa el número de punto, otro los segundos desde la toma de esa imagen con la anterior, y el último representa la altura de vuelo (figura 51).

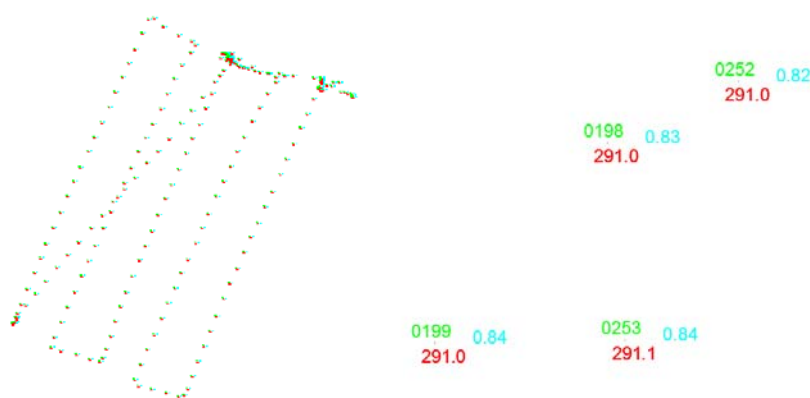


Figura 51: Distribución de las imágenes para uno de los vuelos realizados (Izqda.) y posición de las imágenes, con el número de punto, la altura respecto al nivel del mar y la diferencia de tiempo con la anterior imagen (Dcha.)

Abriremos ese fichero “drawing.dxf” donde borraremos todas las imágenes que no nos interesen, guardando el fichero modificado como “drawing2.dxf”, el programa procederá a leer este fichero guardando en una carpeta las imágenes que están recogidas en ese último fichero dxf. Estas últimas imágenes serán las utilizadas para obtener los mapas de reflectancias y los índices de vegetación.

### 3.4.4 Procesado de datos y obtención productos finales

Una vez se han extraído las imágenes RGB y multiespectrales, podemos obtener a partir de ellas los distintos productos posibles. Con las imágenes RGB se calcularán los modelos digitales de superficie y con las multiespectrales los mapas de reflectancia y los índices de vegetación.

#### 3.4.4.1 Procesado imágenes RGB

El objetivo de los modelos digitales de superficie es controlar el crecimiento del cultivo mediante las diferencias en fechas sucesivas, para ello debemos tener garantías de que los modelos están bien generados desde el punto de vista relativo y absoluto. Para garantizar la precisión relativa se intentó que las imágenes tuvieran la máxima calidad, se tuvo mucho cuidado que en el momento del vuelo no hiciera mucho viento y la iluminación fuera la adecuada. Para asegurar la precisión absoluta de los modelos se utilizaron los puntos de apoyo que ya se han explicado en apartados anteriores.



Necesitamos un modelo digital de inicio con el terreno desnudo para poder comparar la evolución del cultivo, para ello se testearon dos software como el Pix4d y el PhotoScan para obtener los modelos digitales, la parcela estaba recién sembrada y todavía no había nacido. Con cada uno de ellos se calcularon dos ortomosaicos y dos modelos digitales realizados el mismo día (04-07-17) y a la misma altura (24 m sobre el terreno) pero con direcciones que diferían en 90 grados, uno en dirección Norte-Sur ligeramente desplazado 25 grados hacia el Este y el otro a 90 grados. Todos los mapas se georeferenciaron utilizando los puntos de apoyo descritos en los apartados anteriores, siendo los residuos bastante aceptables para los dos software utilizados.

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
102 (3D)	0.020/ 0.020	-0.027	-0.019	-0.028	0.761	9 / 9
103 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.031	0.006	0.710	9 / 9
104 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	-0.011	-0.003	1.049	23 / 23
101 (3D)	0.020/ 0.020	-0.021	0.014	0.019	0.852	11 / 11
105 (3D)	0.020/ 0.020	0.066	0.029	-0.057	0.474	6 / 6
100 (3D)	0.020/ 0.020	-0.036	0.045	0.014	0.892	7 / 7
Mean [m]		-0.000159	0.004374	-0.008257		
Sigma [m]		0.034025	0.026959	0.026601		
RMS Error [m]		0.034025	0.027311	0.027853		

Tabla 16: Residuos de los puntos de apoyo para el vuelo Norte-Sur calculado con Pix4d

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
100	-2.83279	4.16648	0.464024	5.0596	0.473 (5)
101	-0.671525	-0.219965	-0.792246	1.06159	0.226 (11)
102	-3.29948	-3.87236	-0.0507103	5.08766	0.331 (11)
103	2.67137	-0.277695	-0.233064	2.69586	0.294 (17)
104	1.68417	-0.274438	1.37452	2.19113	0.516 (20)
105	2.41221	0.486452	-0.676285	2.55201	0.531 (10)
<b>Total</b>	<b>2.42052</b>	<b>2.33781</b>	<b>0.735587</b>	<b>3.44462</b>	<b>0.411</b>

Tabla 17: Residuos de los puntos de apoyo para el vuelo Norte-Sur calculado con PhotoScan

Estos modelos digitales se cotejaron con un levantamiento de la parcela que se hizo con el GPS Hiper V, al ser una superficie tan pequeña y con tan poco desnivel únicamente se cogieron 9 puntos distribuidos en de forma homogénea por la zona a estudiar (figura 52).

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

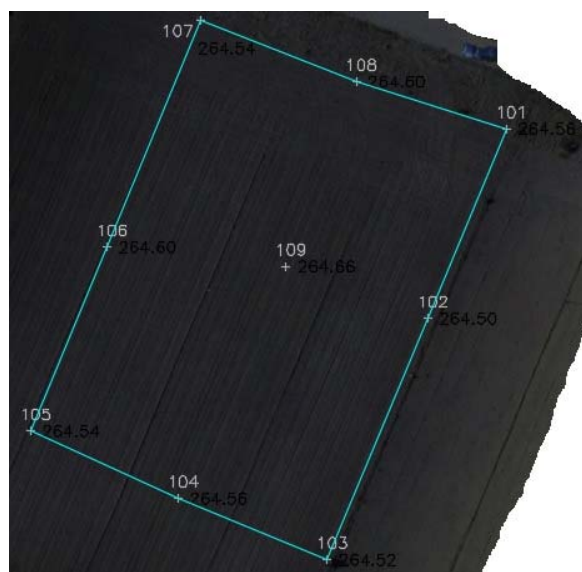


Figura 52: Levantamiento de la zona de estudio mediante el GPS Hiper V de Topcon

Los mapas obtenidos mediante el Pix4D tenían una resolución de 1.8 cm, una resolución muy buena. Estos mapas en un principio se ven bastante bien, pero si miramos detalladamente el modelo digital de superficie se aprecia unas manchitas por el centro de la imagen con una cota muy por encima de las de alrededor (rodeado con un círculo rojo), esto se repita en bastantes puntos del mapa, y tanto en el vuelo Norte-Sur como en el ortogonal generándonos estos productos poca confianza. Con el Pix4d se generó también una nube de puntos, que se utilizará posteriormente para generar una superficie mediante el TpcMDT y compararla con el levantamiento obtenido con GPS.

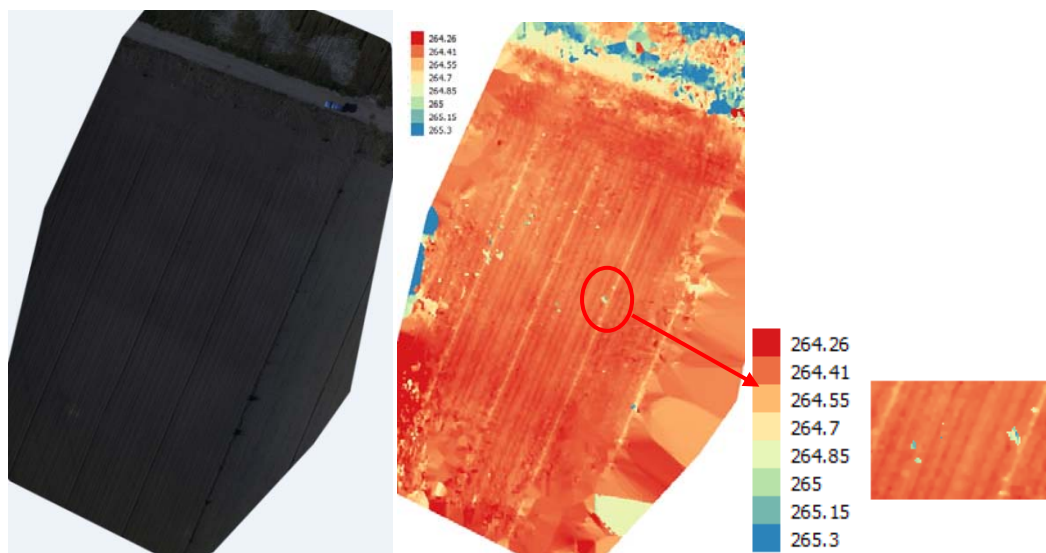


Figura 53: Ortomosaico y modelo digital de superficie (dos imágenes izqda.), detalle modelo digital (dcha.) del vuelo con dirección Norte-Sur

Por otro lado se obtuvo la misma información con el PhotoScan, dos ortomosaicos, dos modelos digitales de superficie y dos nubes de puntos para generar las superficies con otro software independiente. La resolución del ortomosaico era de 1.06 cm, todavía mejor que con

el Pix4d pero la del modelo digital era de 2.1 cm un poquito peor. Los mapas tienen una apariencia muy buena, y en el modelo digital no se observa ninguna zona fuera de lo normal.

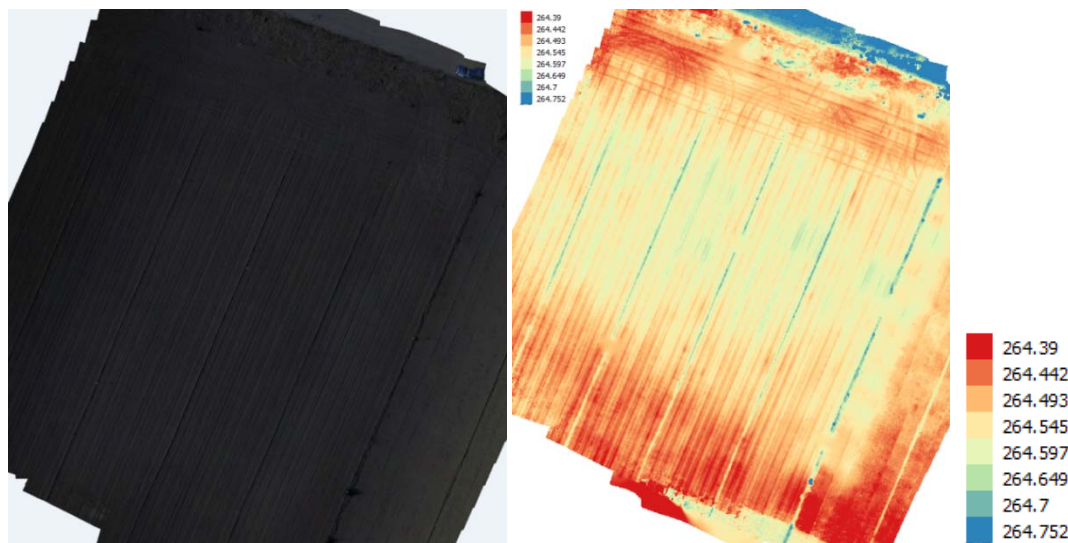


Figura 54: Ortomosaico y modelo digital de superficie (dos imágenes izqda.), leyenda modelo digital (dcha.) del vuelo con dirección Norte-Sur

De los puntos exportados con los dos software se generaron cuatro superficies que se compararon con el levantamiento inicial de GPS, a continuación se adjunta una tabla con las diferencias.

Software de cálculo	Fichero 1	Fichero 2	Alt media más alto Fich 1 que Fich 2	Alt media más bajo Fich 1 que Fich 2
PhotoScan	Levan GPS	vuelo 04-1-17 Norte-Sur	4.6 cm	3.6 cm
PhotoScan	Levan GPS	vuelo 04-1-17 Este-Oeste	2.2 cm	3.9 cm
Pix4d	Levan GPS	vuelo 04-1-17 Norte-Sur	17.5 cm	5.5 cm
Pix4d	Levan GPS	vuelo 04-1-17 Este-Oeste	6.8	4.4

Tabla 18: Diferencias entre el levantamiento GPS y los obtenidos el 04-07-17 con Pix4d y PhotoScan



Figura 55: Curvados levantamiento obtenido PhotoScan (Izqda.) y con Pix4d (Dcha.)

Como se ve en la tabla 18 las diferencias son mucho más grandes en el modelo digital obtenido con el Pix4d que con el PhotoScan. Si observamos el curvado obtenido con uno y

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

otro software vemos también como el obtenido con el PhotoScan es más aparente que el obtenido con Pix4d (figura 55). En la imagen de la derecha se observan pequeños montículos (círculos en rojo) y alguna depresión (azul), que no tiene ningún sentido ya que la parcela es prácticamente llana.

Por todo esto se decidió utilizar el PhotoScan para calcular los modelos digitales de superficie que se utilizarán para controlar el crecimiento del cultivo. Se calcularon ocho modelos digitales uno para cada vuelo. En la figura 56 se puede comparar los modelos digitales de superficie (MDS) del 04-07-17 que estaba el terreno sin vegetación y el del 11-09-17 en donde toda la superficie estaba cubierta de vegetación.

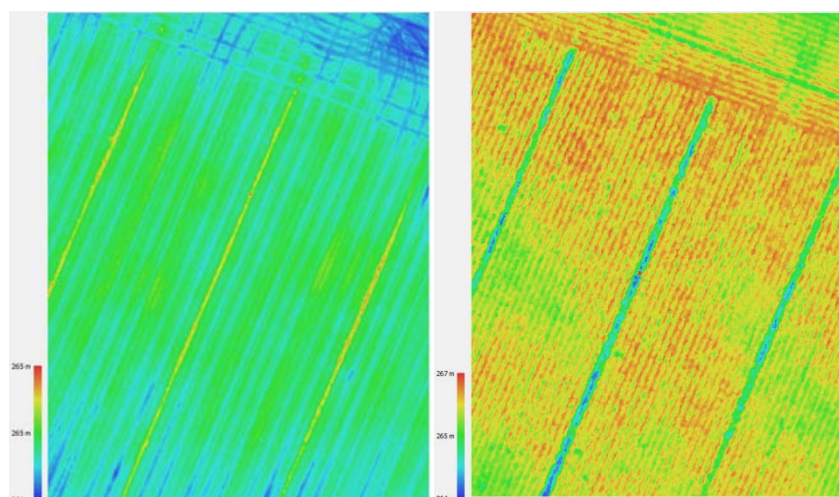


Figura 56: MDS parcela recién plantada (izqda.) y en avanzado desarrollo (dcha.)

#### 3.4.4.2 Procesado imágenes multispectrales

Las imágenes multispectrales van a servir para calcular los mapas de reflectancia y a partir de estos los índices de vegetación. Se utilizaron también los dos softwares de procesamiento de imágenes del paso anterior, con el PhotoScan se dio el problema que los mapas de reflectancia los teníamos en niveles de gris y no podíamos pasarlos a valores de reflectancia, en la versión vigente en el momento no existía la posibilidad de introducir las imágenes con la tarjeta de calibración para realizar este proceso. Mientras que con el Pix4d era relativamente sencillo ya que cuando llegaba el momento de calcular los mapas de reflectancia te reclamaba las imágenes para calibrar las imágenes. Por lo tanto se decidió utilizar el Pix4d para calcular los mapas de reflectancia e índices de vegetación. Se pueden observar las diferencias por ejemplo en el índice gndvi (figura 57) de la parcela recién plantada (04-07-17) y ya con el cultivo bastante desarrollado (11-09-17). Se aprecia como la imagen de la izquierda tiene un índice muy bajo y la imagen de la derecha es considerablemente mayor.



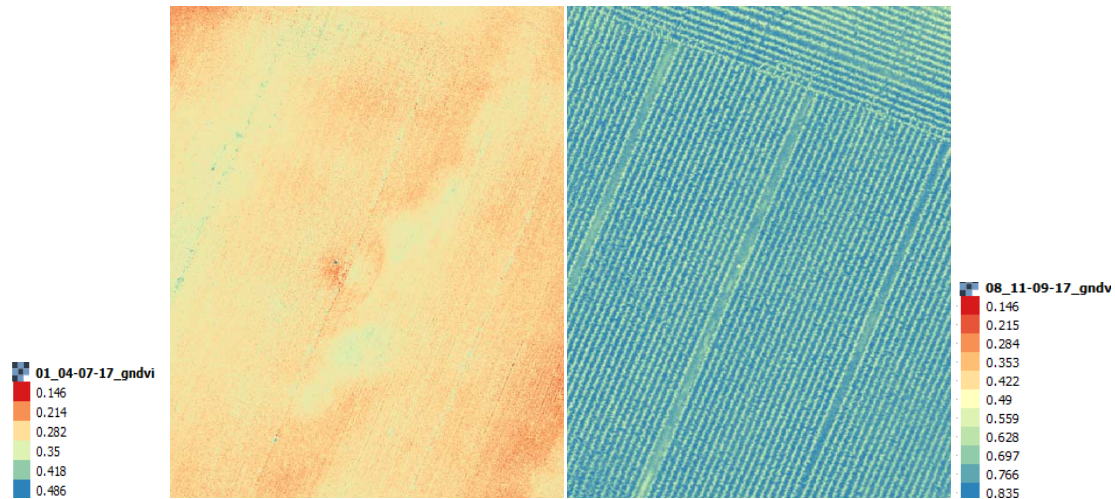


Figura 57: Índices GNDVI, parcela recién plantada (izqda.) y en avanzado desarrollo (dcha.)

Los índices de reflectancia calculados fueron los siguientes:

Índice	Formula	Referencia
RVI(Ratio Vegetation Index)	$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_R}$	(Birth & McVey, 1968)
GVI(Green Vegetation Index)	$GVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_G}$	
NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$	(Rouse et al., 1973)
SAVI (Soil Adjusted Difference Vegetation Index)	$SAVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R) * (1 + l)}{\rho_{NIR} + \rho_R + l}$	(Huete, 1988)
GNDVI(Green normalized difference vegetation index)	$GNDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_G}{\rho_{NIR} + \rho_G}$	(A.Gitelson et al., 1996)
TCARI (Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index)	$TCARI = 3 * [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2 * (\rho_{700} - \rho_{550})] \frac{\rho_{700}}{\rho_{670}}$	(Haboudane et al., 2002)
OSAVI (Optimized SAVI)	$OSAVI = (1 + 0.16) * \frac{(\rho_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho_R + 0.16)}$	(Rondeaux et al., 1996)
TCARI/OSAVI	TCARI/OSAVI(table 3)	(Haboudane et al., 2002)
MRESAVI (Modified RESAVI)	$MRESAVI = 0.5 * [2 * \rho_{NIR} + 1 - ((2 * \rho_{NIR} + 1)^2 - 8 * (\rho_{NIR} - \rho_{RE}))^{\frac{1}{2}}]$	(Qi et al., 1994)
RECI (Red Edge Chlorophyll Index)	$RECI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RE}} - 1$	(Gitelson at, 2005)
MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Reflectance Index)	$MCARI = [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2 * (\rho_{700} - \rho_{550})] \frac{\rho_{700}}{\rho_{670}}$	(Daughtry et al., 2000)
MTVI2 (Second Modified Triangular Vegetation Index)	$MTVI2 = \frac{1.5 * [1.2 * (\rho_{800} - \rho_{550}) - 2.5 * (\rho_{670} - \rho_{550})]}{[(2 * \rho_{800} + 1)^2 - (6 * \rho_{800} - 5 * \rho_{670}^{\frac{1}{2}}) - 0.5]^{\frac{1}{2}}}$	(Haboudane et al., 2004)
REDVI (Red Edge Difference Vegetation Index)	$REDVI = \rho_{NIR} - \rho_{RE}$	(Tucker, 1979)
RERDVI (Red Edge Re-normalized Difference Vegetation Index)	$RERDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RE}}{(\rho_{NIR} + \rho_{RE})^{\frac{1}{2}}}$	(Roujean & Breon, 1995)
RESAVI (Red Edge Soil Adjusted Vegetation Index)	$RESAVI = 1.5 * \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RE}}{\rho_{NIR} + \rho_{RE} + 0.5}$	(Sripada et al., 2005)

Tabla 19: Índices de vegetación calculados en este estudio

### 3.4.5 Extracción información de modelos digitales e índices de vegetación

Tenemos los modelos digitales e índices de vegetación de una zona en concreta de la parcela como se explica en el apartado 3.1. Excepto la información generada para el día 04-07-17 que no tiene nada de cultivo y que solamente sirve como base de comparación para el resto de modelos de superficie, en el resto de mapas, sobre todo cuando la densidad del cultivo no es muy alta, se produce una contaminación entre píxeles que recogen información del cultivo y píxeles que recogen información del terreno limpio. En los casos de mapas contaminados tenemos que evitar los píxeles correspondientes al suelo. Esto se consigue determinando las líneas que van a definir las alineaciones del maíz (figura 58), con estas alineaciones se genera un buffer de 20 cm a cada lado (figura 59) de tal forma que el fichero del buffer creado se utilizará para extraer la información de cada uno de los mapas obtenidos con PhotoScan y Pix4d.

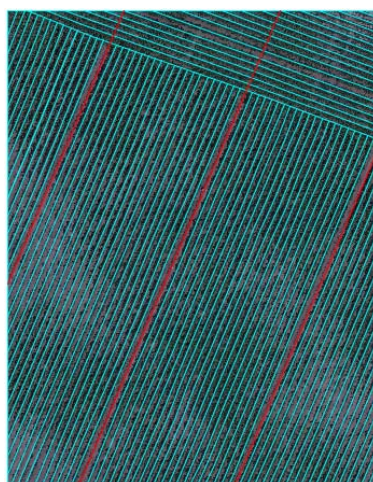


Figura 58: Definición de las alineaciones de maíz, sobre la orto del 01-08-17

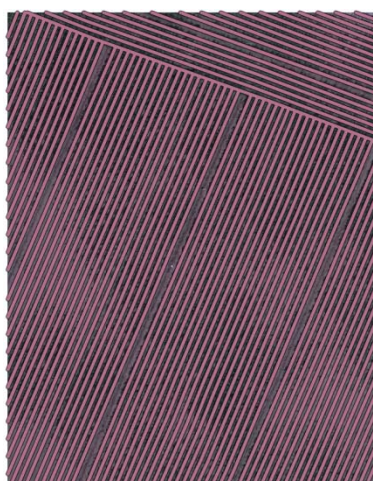


Figura 59: Definición de buffer a 20 cm de las alineaciones de maíz

Por tanto tendremos unos nuevos mapas con información únicamente en la zona definida por el buffer, de los cuales extraeremos la información que nos interesa, cota media para los distintos vuelos, y valor medio de cada uno de los índices de vegetación obtenidos para cada día, y la reflectancia en las distintas bandas captadas por el sensor multiespectral. Se



observó que para las fechas del 5 y 11 de septiembre ya se había producido la floración, podía suceder que la respuesta en los buffers que se habían definido no fuera lo que se buscaba por lo que para estas fechas se extrajo además información definiendo otros buffers a 10 cm de las alineaciones entre hileras de maíz.

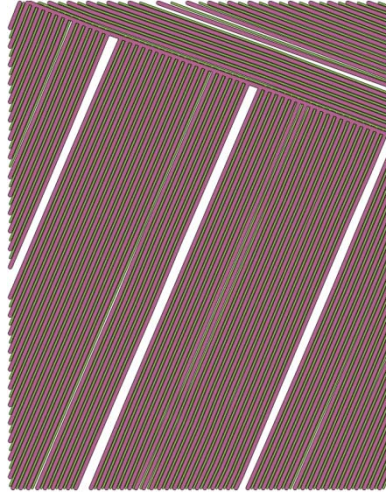


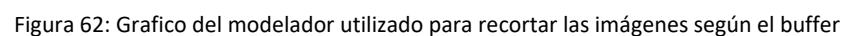
Figura 60: Superposición de los buffers según la alineación del maíz (magenta) y el definido entre el espacio intermedio (verde)

Para extraer la zona del buffer de una forma rápida se utilizó el modelador de QGis (figura 62).



Figura 61: Ortomosaico de la parcela (izqda.) y superpuesto con el buffer definido a 20 cm a ambos lados de las alineaciones de maíz.

Posteriormente con ENVI se obtuvieron los mínimos, máximos, medias y desviaciones típicas para los distintos índices y días, que utilizaremos para relacionar el estado del cultivo.



#### 4- Resultados y discusiones

A continuación se adjunta una tabla con las medias y las desviaciones típicas para cada índice vegetal y día, también se incluyen información acerca de la temperatura, precipitación y humedad relativa media, radiación global media por día y Kg/Ha de nitrato aportado.

	04/07/2017		19/07/2017		01/08/2017		12/08/2017		23/08/2017		29/08/2017		05/09/2017		05/09/2017*		11/09/2017		11/09/2017*	
Tmed(°C)	19		24		23		22		23		23		19		19		18		18	
Pmed(lt/m2/día)	0,00		2,84		4,80		7,74		7,16		11,91		7,80		7,80		7,31		7,31	
Hum Rel Med (%)	53,00		53,00		52,00		53,00		51,00		66,00		70,00		70,00		62,00		62,00	
Rad Global Media(W/m2)	280,00		289,00		291,00		261,00		274,00		185,00		207,00		207,00		202,00		202,00	
Nitrato(kg/Ha)	0,00		400,00		0,00		0,00		0,00		280,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
INDICE DE VEG	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP	MEDIAS	DESV TIP
RED	0,230	0,049	0,186	0,037	0,232	0,076	0,068	0,030	0,038	0,011	0,045	0,013	0,066	0,023	0,042	0,014	0,092	0,030	0,051	0,012
GREEN	0,153	0,034	0,118	0,024	0,199	0,046	0,090	0,025	0,064	0,020	0,070	0,022	0,110	0,037	0,067	0,024	0,128	0,041	0,070	0,019
NIR	0,277	0,057	0,246	0,042	0,464	0,108	0,409	0,120	0,455	0,098	0,596	0,081	0,599	0,080	0,526	0,079	0,728	0,081	0,624	0,079
RED EDGE	0,257	0,054	0,224	0,038	0,359	0,073	0,260	0,070	0,256	0,063	0,334	0,069	0,329	0,073	0,249	0,062	0,450	0,085	0,325	0,058
NDVI	0,093	0,026	0,140	0,063	0,334	0,176	0,701	0,137	0,843	0,046	0,860	0,029	0,806	0,047	0,855	0,029	0,781	0,050	0,848	0,024
GVI	1,818	0,116	2,107	0,235	2,439	0,750	4,681	1,228	7,476	1,695	9,103	2,168	5,916	1,598	8,371	1,814	6,188	1,650	9,289	1,517
RVI	1,206	0,062	1,339	0,199	2,281	1,108	6,887	2,929	12,608	3,285	13,886	2,941	9,947	2,696	13,273	2,578	8,630	2,287	12,483	1,860
SAVIBAJA	0,142	0,053	0,172	0,080	0,799	0,494	1,035	0,437	1,265	0,353	1,821	0,328	1,787	0,314	1,531	0,305	2,328	0,339	1,933	0,332
SAVIMED	0,072	0,028	0,084	0,040	0,425	0,271	0,520	0,236	0,636	0,196	0,953	0,192	0,940	0,187	0,785	0,177	1,269	0,209	1,020	0,196
SAVIALTA	0,045	0,019	0,051	0,025	0,282	0,185	0,327	0,158	0,399	0,134	0,622	0,137	0,617	0,136	0,503	0,126	0,858	0,155	0,671	0,141
GNVVI	0,289	0,029	0,353	0,047	0,393	0,117	0,629	0,091	0,755	0,049	0,793	0,042	0,697	0,064	0,778	0,044	0,708	0,063	0,801	0,032
TCARI/OSAVI	0,002	0,003	0,010	0,020	0,229	0,334	1,135	0,822	2,106	0,812	3,205	0,914	1,943	0,600	1,801	0,521	2,541	0,584	2,555	0,626
MRESAVI	0,027	0,020	0,030	0,012	0,113	0,049	0,176	0,061	0,237	0,054	0,274	0,035	0,284	0,040	0,321	0,041	0,255	0,043	0,308	0,036
RECI	0,083	0,064	0,099	0,040	0,293	0,134	0,568	0,184	0,810	0,240	0,819	0,204	0,866	0,239	1,167	0,277	0,648	0,182	0,942	0,175
MCARI	0,007	0,016	0,023	0,033	0,212	0,239	0,750	0,457	1,259	0,425	1,794	0,465	1,152	0,318	1,043	0,281	1,501	0,294	1,436	0,321
MTVI2	-0,040	0,024	-0,016	0,047	0,216	0,187	0,508	0,185	0,669	0,116	0,774	0,058	0,738	0,055	0,731	0,060	0,746	0,046	0,762	0,054
REDVI	0,020	0,015	0,022	0,010	0,105	0,054	0,149	0,062	0,200	0,054	0,262	0,033	0,270	0,034	0,277	0,038	0,278	0,039	0,299	0,040
RERDVI	0,028	0,020	0,032	0,013	0,114	0,049	0,178	0,058	0,236	0,052	0,273	0,034	0,282	0,038	0,316	0,038	0,258	0,042	0,308	0,035
RESAVI	0,057	0,042	0,063	0,026	0,251	0,102	0,333	0,113	0,422	0,087	0,514	0,044	0,524	0,044	0,532	0,049	0,534	0,049	0,559	0,050
MOD DIG SUP	264,558	0,028	264,560	0,023	264,601	0,047	264,881	0,230	265,488	0,164	265,843	0,161	266,005	0,217	265,850	0,194	266,033	0,188	265,895	0,177

Tabla 20: Datos meteorológicos y fertilizante por día. Desviaciones típicas por índice de vegetación y día. <sup>1</sup> los datos están obtenidos de la vegetación existente entre las hileras de maíz.

Si observamos los gráficos de reflectancia media para las 4 bandas que capta la Sequoia, se puede apreciar para las bandas del green, NIR y red edge un aumento de la reflectancia a partir del 12-23 de agosto que es cuando el cultivo empieza a desarrollar más cubierta vegetal (figura 63). En el red edge y en el NIR se aprecia un descenso en la reflectancia tras el aporte de nitratos, mientras que en el verde la reflectancia en el verde sigue aumentando ligeramente (figura 64). Este comportamiento es interesante ya que se trasladará a aquellos índices en los que intervengan estas bandas. Las líneas azules de los gráficos representan el comportamiento de la vegetación en las zonas entre las hileras de los maíces.



Figura 63: Estado del maíz 12 Agosto 2017 (Izqda.) y el 23 Agosto 2017 (Dcha.)



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

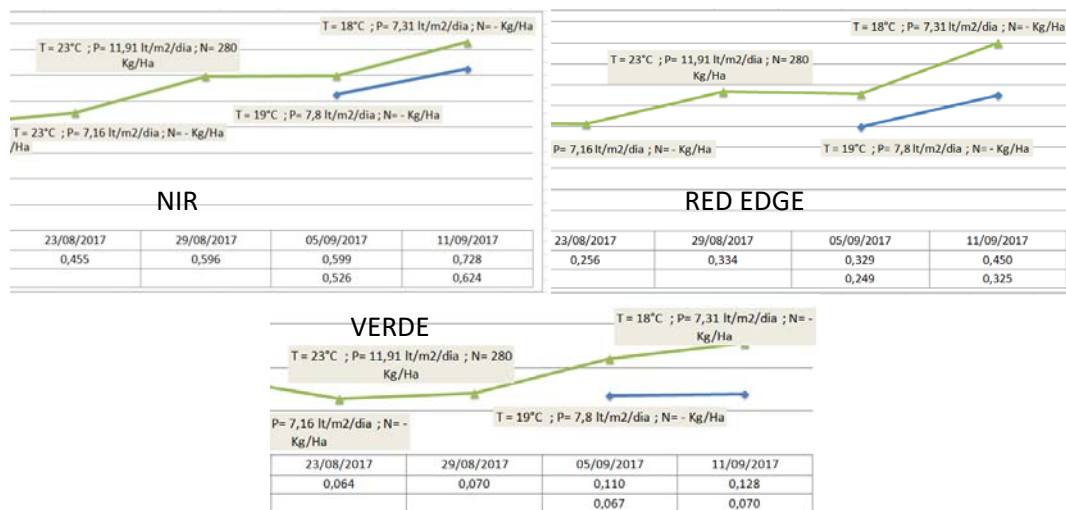


Figura 64: Reflectancia en el NIR, Red Edge y verde.

En el gráfico del NDVI (figura 65) se observa una saturación en torno al valor 0.85 a partir del 23 de Agosto, achacable al aumento de la cubierta vegetal y en buen estado de salud. Este comportamiento es muy parecido al GNDVI (Anexo 2) que va aumentando desde el momento de la siembra hasta el 23 de Agosto coincidiendo con el aumento de densidad de cubierta vegetal, para saturarse. En las zonas definidas por las hileras de maíz se aprecia un ligero descenso pero entre las hileras (línea azul) el valor se mantiene. También es muy parecido el comportamiento del MTVI2, aunque el valor de este índice aumenta hasta el 29 de Agosto, para estabilizarse en torno a 0.75 tanto para la zona de las hileras de maíz como entre ellas.

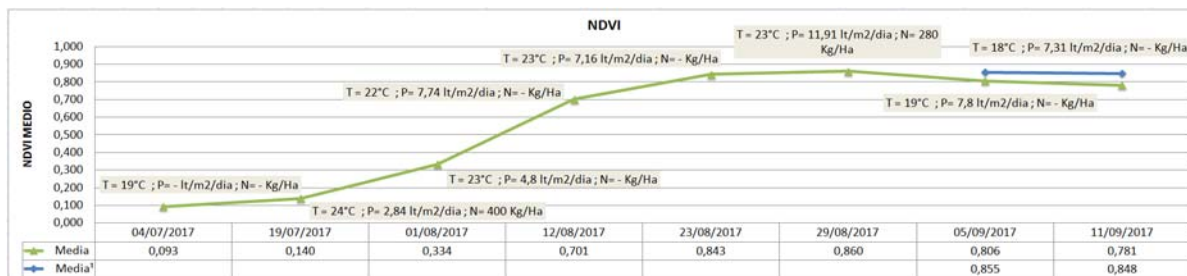


Figura 65: Gráfico de las medias por día del NDVI

El comportamiento del RVI y GVI en líneas generales es muy parecido, produciéndose un descenso considerable entre el 29 de Agosto y el 5 de Septiembre que coincide justo con el momento de aporte de Nitratos, eso en lo que respecta a la zona en las hileras de maíz, mientras que entre estas alineaciones se produce valores muy similares del 29 de Agosto en adelante (figura 66).

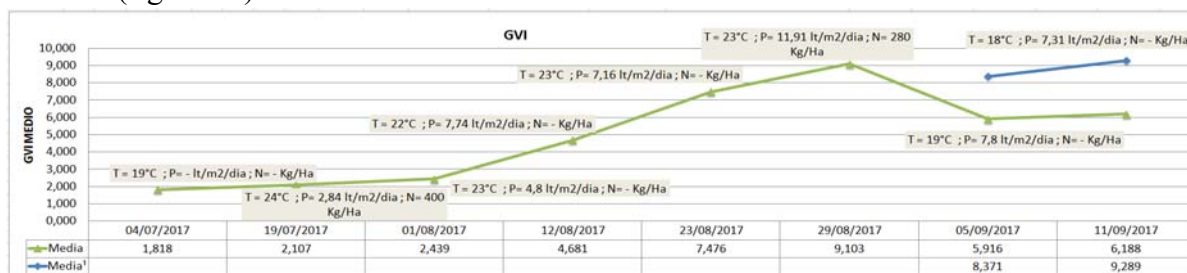


Figura 66: Gráfico de las medias por día del GVI

En el caso del SAVI, tenemos un gráfico con el mismo aspecto visual tanto para el de densidad de vegetación baja, media o alta, únicamente cambia la relación dos a uno entre los valores de SAVI con densidad de vegetación alta ( $l=0.25$ ) y con densidad de vegetación media ( $l=0.5$ ), lo mismo sucede para el SAVI con densidad media y con el de densidad baja ( $l=1$ ) (figura 67). Si consideramos entre hileras de maíz, entre el 29 de Agosto y 5 de Septiembre se produce un ligero descenso para luego aumentar entre el 5 y 11.

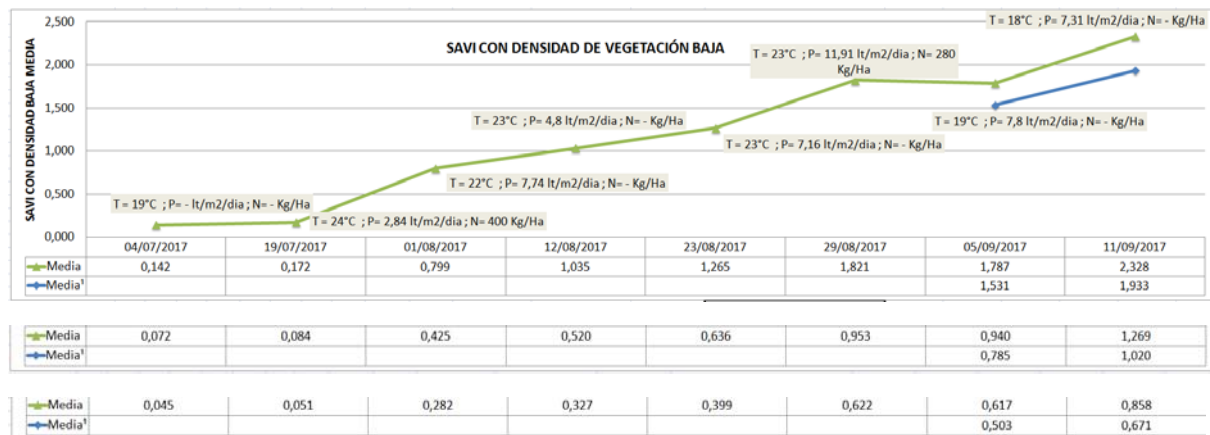


Figura 67: Gráfico de las medias para los SAVI, con valores de densidad de vegetación baja (arriba), densidad media (centro) y densidad alta (abajo).

El REDVI y RESAVI tienen un comportamiento parecido, el índice varía muy poco en las primeras etapas (4-19 de Julio), para ir aumentando progresivamente hasta el 29 de Agosto y a partir de ahí aumentar ligeramente (figura 68). Tienen la misma tendencia, aunque para un valor determinado de REDVI le corresponde aproximadamente el doble en el RESAVI.

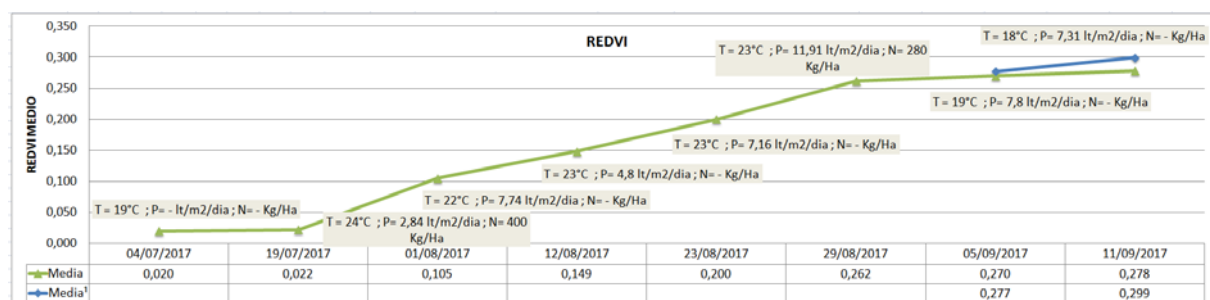


Figura 68: Gráfico de las medias para el REDVI

Respecto al RERDVI, RECI, MRESAVI, tienen prácticamente la misma gráfica, el índice va aumentando hasta el 5 de Septiembre sin notarse ningún cambio muy significativo entre el día antes y después del aporte de N. Se aprecia una ligera disminución en la pendiente entre el 29 de Agosto y 5 de Septiembre, pero esta reducción también podría deberse a la bajada de temperatura media o la reducción de radiación solar global media.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

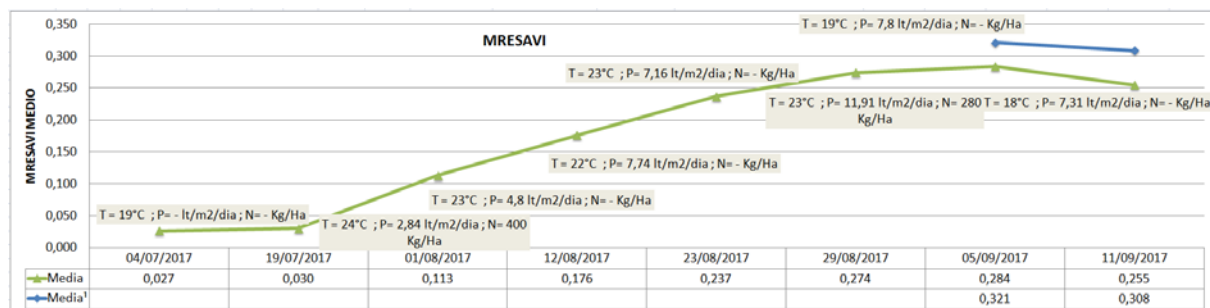


Figura 69: Gráfico de las medias para el MRESAVI.

Sin duda los índices que mejor reflejan el intervalo pre y post aporte de fertilizante es el TCARI/OSAVI y el MCARI, con un comportamiento similar, reflejando un valor máximo para los dos el día antes del aporte de N, para sufrir un descenso muy pronunciado seis días después de este aporte, dando tiempo para que el nitrógeno haya sido asimilado por planta. Este descenso también puede deberse en parte al cambio en las condiciones meteorológicas como se ha comentado anteriormente.

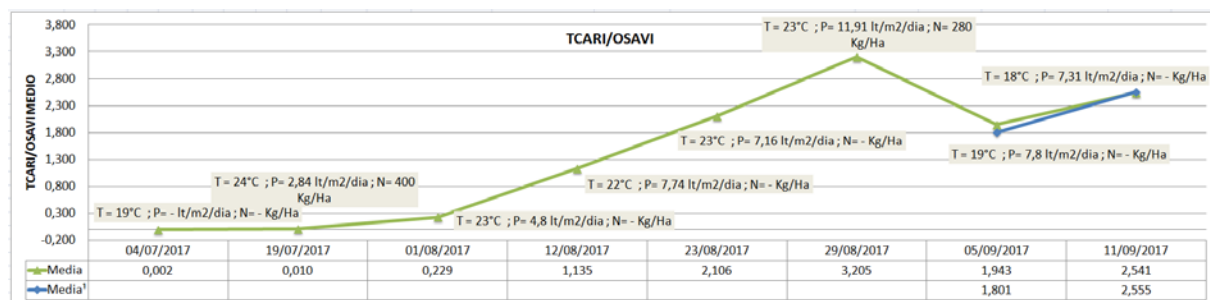


Figura 70: Gráfico de las medias para el MRESAVI.

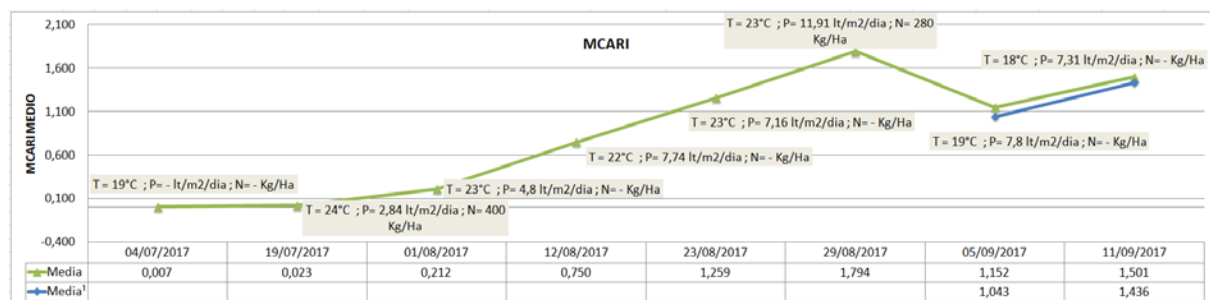


Figura 71: Gráfico de las medias para el MRESAVI.

En cuanto al gráfico correspondiente al modelo digital de superficie, se observa cómo entre el 12 y 29 de Agosto crece una media de 5.5cm/día, este crecimiento se ve ralentizado a partir del aporte de nitratos aunque este aporte debería suponer un acicate para el incremento del cultivo, pero teniendo en cuenta la etapa de crecimiento en la que se encontraba el maíz, este aporte podía destinarse fundamentalmente al desarrollo del fruto en lugar de al crecimiento. A continuación se adjuntan algunas imágenes en distintas etapas de desarrollo del maíz:





Figura 72: Imágenes en distintas etapas del ciclo fenológico del maíz, 29 de Agosto (izqda.), 5 de Sept (centro), y 11 de Sept (dos de la dcha.)

Este mismo análisis realizaríamos si tendríamos en cuenta los gráficos de los polígonos de frecuencia que se adjuntan en el Anexo 3.

## 5- Conclusiones

Las técnicas de teledetección ya se han utilizado para múltiples tareas relacionadas con la agricultura de precisión. Anteriormente los sensores se habían utilizado montados en puntos fijos como torretas o móviles como un tractor, esto nos permitía obtener información de la zona circundante. Sin embargo cuando la extensión del campo es considerablemente mayor, las herramientas aéreas pueden facilitar esta tarea.

Aunque el desarrollo de las técnicas aplicadas a la agricultura de precisión está aumentando y mejorando, los estudios que proporcionan los métodos para obtener mapas de fertilización de N prácticamente en tiempo real a partir de los datos de teledetección son todavía limitados.

Dentro de las técnicas de teledetección cada vez está teniendo más auge la utilización de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) en tareas agrícolas que permiten la recopilación de imágenes mediante diferentes sensores (RGB, multiespectrales, hiperespectrales, térmicos, etc) con gran resolución temporal y espacial.

El hecho de poder cartografiar el estado de fertilización en el que se encuentra el cultivo, determinando a su vez las zonas deficitarias, nos permitirá realizar una fertilización selectiva en lugar de extensiva en tratamientos posteriores, suponiendo un ahorro considerable en los gastos sin que por ello se produzca una merma en la producción final.

Sería necesario también tener en cuenta la forma en la que se suministra el fertilizante en el cultivo, ya que si el aporte es en cobertera habría que analizar las pérdidas achacables al arrastre producido por el agua. Se supone que estas pérdidas serán variables en función del tipo de riego que tenga las parcelas, siendo mayor en las parcelas con riego por inundación que por aspersión. Siendo a su vez mejor asimilado el fertilizante por la planta cuando se suministra a través del riego por aspersión en líquido que mediante abono en grano de cobertera.

En la parcela de maíz utilizada en este estudio se ha aportado fertilizante únicamente en dos momentos uno de Urea al 46% mediante cobertera al inicio del desarrollo del maíz el 18 de Julio y el otro de Nitrato líquido al 26% en el riego el 30 de Agosto, para realizar el análisis del contenido de Nitratos en el cultivo tanto a partir de imágenes multiespectrales como en RGB. En la primera fecha de Julio es muy complicado ya que al ser la densidad de vegetación muy baja no se refleja en el modelo digital de superficie ni en el cálculo de los índices de vegetación. En el segundo aporte de N, al ser ya la cobertura vegetal más densa, el comportamiento del cultivo puede trasladarse tanto al modelo digital de superficie como a los índices de vegetación.

De todos los índices analizados los que representan mejor el momento antes y después del suministro de N son el TCARI/OSAVI y MCARI, ya que sus valores descienden considerablemente una vez el cultivo ha asimilado el N. Hubiera sido aconsejable tomar muestras del cultivo en campo antes y después del 30 de Agosto para determinar el contenido de nitrógeno en la planta y poder relacionarlo directamente con estos índices, ya que sin muestras de campo no sabemos si la variación del índice de vegetación es achacable totalmente al aporte de N o está afectada por otro tipo de variables. Mediante la toma de

muestras de campo podría saberse también si el nitrato es asimilado por la planta o hay una parte del fertilizante que es arrastrado por el agua. Esta relación entre las dos variables, contenido de Nitrógeno e índices de vegetación nos permitiría realizar un mapa de contenido de N de toda la parcela que ayudaría a los agricultores en la toma de decisiones. El problema que tiene este tipo de cultivo es que al suministrarse el nitrato en una o dos veces como mucho no es posible realizar el seguimiento deseable, sería aconsejable un cultivo en el que el aporte de fertilizantes se realizase en varias fases (más de dos) de tal forma que se tuviera tiempo de tomar decisiones en función de las necesidades del cultivo.

Podría haber sido conveniente también tener dos áreas de entrenamiento una en la que se aporta nitratos y otra en la que no se aporta, como las condiciones meteorológicas serían para las dos superficies las mismas, también tendrían las mismas condiciones de riego, por lo tanto las diferencias existentes en los índices en las dos áreas serían achacables únicamente al contenido en nitrógeno.

Por otro lado si se hubiera tenido disponibilidad de una cámara hiperespectrales que trabajen con bandas que se mueven en la zona del infrarrojo de onda corta (1510 nm and 1680 nm) podríamos haber calculado el índice NDNI (Normalized Difference Nitrogen Index) ya que existen estudios muy satisfactorios relacionando este índice con el contenido en nitrógeno (Wang & Wei, 2016).

Respecto a la utilización de los modelos digitales de superficie para relacionar el crecimiento del cultivo con el contenido de Nitrato, dependería muy mucho del tipo de cultivo y la etapa de desarrollo del mismo en el momento del aporte del fertilizante, ya que en este caso (maíz dulce), no se corresponde un mayor crecimiento del cultivo con un aporte de N, sino que puede ir asociado a un mejor y mayor desarrollo del fruto. También se tiene que considerar el tipo de variación que se pretende detectar, ya que entre la precisión en la determinación del modelo digital mediante fotogrametría y el comportamiento irregular del cultivo en función de la cantidad de riego suministrada es muy difícil asociar pequeñas variaciones al suministro de fertilizante.

Por todo lo dicho anteriormente lo más aconsejable para el control de nitratos sería la utilización de determinados índices (TCARI/OSAVI, MCARI, NDVI), acompañados de la toma de muestras en campo, y un seguimiento continuo mediante imágenes de teledetección.

## 6- Bibliografía

- A.Gitelson, A., Yoram J.Kaufman, & N.Merzlyak, M. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 10.
- Anatoly, A. G., Gritz, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, 160(3), 271–282.
- Ballesteros, R., Ortega, J. F., Hernández, D., & Moreno, M. A. (2014). Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part II: application to maize and onion crops of a semi-arid region in Spain. *Precision Agriculture*.  
<https://doi.org/10.1007/s11119-014-9357-6>
- Baret, F., & Fourty, T. (2013). Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Baret, F., Guyot, G., & Major, D. J. (2014). TSAVI: A Vegetation Index Which Minimizes Soil Brightness Effects On LAI And APAR Estimation. *12th Canadian Symposium on Remote Sensing Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3(October), 1355–1358.  
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.1989.576128>
- Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M., ... Moran, M. S. (2000). Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture and Other Resource Management July 16-19, 2000, Bloomington, MN USA*.
- Bei, J. H., Wang, K. R., Chu, Z. D., Chen, B., & Li, S. K. (2005). Comparative study on the measurement methods of the leaf area. *J. Shihezi Uni*, (23), 216–218.
- Birth, G. S., & McVey, G. R. (1968). Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectrophotometer. *Agronomy Journal*, 60(6), 640–643.
- Broge, N. ., & Leblanc, E. (2001). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76(2), 156–172.
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing*, 7(4), 4026–4047. <https://doi.org/10.3390/rs70404026>
- Cao, Q., Miao, Y., Wang, H., Huang, S., Cheng, S., Khosla, R., & Jiang, R. (2013). Non-destructive estimation of rice plant nitrogen status with Crop Circle multispectral active canopy sensor. *Field Crops Research*, 154, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.005>
- Carter, G. A. (1993). Responses of Leaf Spectral Reflectance to Plant Stress. *American Journal of Botany*, 80(3), 5.
- Caturegli, L., Corniglia, M., Gaetani, M., Grossi, N., Magni, S., Migliazzi, M., ... Volterrani, M. (2016). Unmanned aerial vehicle to estimate nitrogen status of turfgrasses. *PLoS ONE*, 11(6), 1–13.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158268>
- Chen, P.F., Wang, J., Huang, W.J., Tremblay, N., Ou, Y., and Zhang, Q. (2013). (2013). Critical nitrogen curve and remote detection of nitrogen nutrition index for corn in the northwestern plain of Shandong Province, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and*

*Remote Sensing*, 6(2), 8.

- Chen, P. F., Haboudane, D., Tremblay, N., Wang, J. H., Vigneault, P., & Li, B. G. (2010). New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 1987–1997.
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. *Entorno Geografico*, 3, 298–314. Retrieved from [http://www.slideshare.net/alinelabelen/savedfiles?s\\_title=teledeteccion-ambiental-listo&user\\_login=jaiflo7503](http://www.slideshare.net/alinelabelen/savedfiles?s_title=teledeteccion-ambiental-listo&user_login=jaiflo7503)
- Cilia, C., Panigada, C., Rossini, M., Meroni, M., Busetto, L., Amaducci, S., ... Colombo, R. (2014). Nitrogen status assessment for variable rate fertilization in maize through hyperspectral imagery. *Remote Sensing*, 6(7), 6549–6565. <https://doi.org/10.3390/rs6076549>
- Clarke, T. R. R., Moran, M. S. S., Barnes, E. M. M., Qi, J., & Pinter, P. J. (2001). Planar domain indices: a method for measuring a quality of a single component in two-component pixels. *IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No.01CH37217)*, 2(C), 1279–1281. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2001.976818>
- Dash, J., & Curran, P. J. (2004). International Journal of Remote Sensing The MERIS terrestrial chlorophyll index The MERIS terrestrial chlorophyll index. *International Journal of Remote Sensing*, 2523(March), 5403–5413. <https://doi.org/10.1080/0143116042000274015>
- Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., de Colstoun, E. B., & McMurtrey, J. E. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 74(2), 229–239. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00113-9)
- Dwyer, L. M., Stewart, D. W., Gregorich, E., Anderson, a. M., Ma, B. L., & Tollenaar, M. (1995). Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(1), 179–182. <https://doi.org/10.4141/cjps95-030>
- Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A., & Massantini, F. (1993). Relationship between nitrogen and chlorophyll content and spectral properties in maize leaves. *European Journal of Agronomy*, 2(2), 113–117. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(14\)80141-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(14)80141-X)
- FAO. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. *Fao*, 4. Retrieved from <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/I>
- FIELD, C., & MOONEY, H. (1986). THE PHOTOSYNTHESIS-NITROGEN RELATIONSHIP IN WILD PLANTS. *CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS*, 25–55.
- Gabriel, J. L., Zarco-Tejada, P. J., López-Herrera, P. J., Pérez-Martín, E., Alonso-Ayuso, M., & Quemada, M. (2017). Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. *Biosystems Engineering*, 160, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.003>
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., ... Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>
- Gamon, J. A., Peñuelas, J., & Field, C. B. (1992). A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90059-S](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90059-S)



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

- Gebbers, R., & Viacheslav I Adamchuk. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 47. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/41424902\\_Precision\\_Agriculture\\_and\\_Food\\_Security\\_Science3275967\\_828-831](https://www.researchgate.net/publication/41424902_Precision_Agriculture_and_Food_Security_Science3275967_828-831)
- Geiger, F., de Snoo, G. R., Berendse, F., Guerrero, I., Morales, M. B., Oñate, J. J., ... Tschardtke, T. (2010). Landscape composition influences farm management effects on farmland birds in winter: A pan-European approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139(4), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.018>
- Gitelson, A. A., Viña, A., Ciganda, V., Rundquist, D. C., & Arkebauer, T. J. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*, 32(8), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2005GL022688>
- Gregory A. Carter, & Knapp, A. K. (2001). Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration 1. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 88(4), 677–684.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90(3), 337–352. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013>
- Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J., & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81(2–3), 416–426. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00018-4)
- Haboudane, D., Tremblay, N., Miller, J. R., & Vigneault, P. (2008). Remote Estimation of Crop Chlorophyll Content Using Spectral Indices Derived From Hyperspectral Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 423–437.
- Heege, H. J., Reusch, S., & Thiessen, E. (2008). Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany. *Precision Agriculture*, 9(3), 115–131.
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). Patrones De Respuesta Espectral, 1–14.
- Hosgood, B., Jacquemoud, S., Andreoli, G., Verdebout, J., Pedrini, A., & Schmuck, G. (1994). Leaf optical properties experiment 93 (LOPEX93).
- Huang, S., Miao, Y., Yuan, F., Gnyp, M. L., Yao, Y., Cao, Q., ... Bareth, G. (2017). Potential of RapidEye and WorldView-2 satellite data for improving rice nitrogen status monitoring at different growth stages. *Remote Sensing*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/rs9030227>
- Huang, S., Miao, Y., Zhao, G., Yuan, F., Tan, C., Yu, W., ... Thenkabail, P. S. (2015). Satellite Remote Sensing-Based In-Season Diagnosis of Rice Nitrogen Status in Northeast China. *Remote Sensing*, 7(Cm), 10646–10667. <https://doi.org/10.3390/rs70810646>
- Huete, A. . (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 15.
- Hunt, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S. T., Perry, E. M., & Akhmedov, B. (2012). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the Canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21(1), 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>



- IFA-FAO. (1968). Los Fertilizantes y su uso. *Asociación Internacional de La Industria de Los Fertilizantes*.
- J.Mulla, D. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 14. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012001419?via%3Dihub>
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J. M., Machet, J. M., & Thelier-Huches, L. (1998). Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Oilseed Rape. *Annals of Botany*, 81(February), 311–317. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0557>
- Kaufman, Y. J., & Tanre, D. (1992). Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261–270.
- Lemairea, G., Jeuffroyb, M.-H., & Gastala, F. (2008). Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 614–624.
- Li, F., Miao, Y., Feng, G., Yuan, F., Yue, S., Gao, X., ... Chen, X. (2014). Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.018>
- Manivasagam, V. S., & Nagarajan, R. (2015). Water Stress Assessment in Maize Crop using Field Hyperspectral Data. *ACRS 2015: The 36th Asian Conference on Remote Sensing*.
- Mistele, B., & Schmidhalter, U. (2008). Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance measurements. *European Journal of Agronomy*, 29(4), 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.007>
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A Modified Soil Adjusted Vegetation Index, 126, 119–126. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1)
- Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 95–107.
- Roujean, J. L., & Breon, F. M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51(3), 375–384. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00114-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00114-3)
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1, 309–317. <https://doi.org/citeulike-article-id:12009708>
- Sequoia, P. (2017). Manual Sequoia.
- Serrano, L., Penuelas, J., & Ustin, S. L. (2002). Remote sensing of nitrogen and lignin in Mediterranean vegetation\rfrom AVIRIS data:\rDecomposing biochemical from structural signals. *Remote Sensing of Environment*, 81, 355–364.
- SPH Engineering(UGGS). (2017). UGCS for DJI. User MAnual, 1–67.
- Sripada, R. P., Heiniger, R. W., White, J. G., & Meijer, A. D. (2005). Aerial Color Infrared Photography for Determining Early In-Season Nitrogen Requirements in Corn. *Agronomy Journal*, 98(4), 968–977.
- Tucker, C. J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation.

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

*Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.

Turner, F. T., & Jund, M. F. (1991). Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. *Agronomy Journal*, 83(5), 3.

Wang, L., & Wei, Y. (2016). Revised normalized difference nitrogen index (NDNI) for estimating canopy nitrogen concentration in wetlands. *Optik*, 127(19), 7676–7688.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.05.115>

Yao, Y., Miao, Y. x., Huang, S., Gao, L., Ma, X., Zhao, G., ... Zhu, H. (2012). Active canopy sensor-based precision N management strategy for rice. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(4), 925–933.

Yu, K., Li, F., Gnyp, M. L., Miao, Y., Bareth, G., & Chen, X. (2013). Remotely detecting canopy nitrogen concentration and uptake of paddy rice in the Northeast China Plain. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 78, 102–115.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.01.008>

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>

## 7-Referencias

- AESA*. (Agosto de 2017). Obtenido de Agencia Estatal de Seguridad Aérea:  
[http://www.seguridadaerea.gob.es/lang\\_castellano/cias\\_empresas/trabajos/rpas/default.aspx](http://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/default.aspx)
- Agropal*. (Agosto de 2017). Obtenido de  
[http://www.agropalsc.com/productos\\_agricultura\\_des.shtml?idboletin=1085&idseccion=5271&idarticulo=25211](http://www.agropalsc.com/productos_agricultura_des.shtml?idboletin=1085&idseccion=5271&idarticulo=25211)
- Cameron Cooke*. (Agosto de 2017). Obtenido de <http://cgcooke.github.io/Scattered-Interpolation/>
- Catalonia.org*. (Agosto de 2017). Obtenido de Catalonia.org:  
[http://www.catalonia.org/cartografia/Clase\\_07/Fotogrametria/Fotogrametria\\_index.html](http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_07/Fotogrametria/Fotogrametria_index.html)
- DJI, Phantom 3 Pro*. (Agosto de 2017). Obtenido de DJI, Phantom 3 Pro:  
<https://www.dji.com/phantom-3-pro/info>
- Facultad de Ciencias Agropecuarias UNC. Ruben Toledo*. (Agosto de 2017). Obtenido de  
[https://es.slideshare.net/rubentolado144?utm\\_campaign=profiletracking&utm\\_medium=sssite&utm\\_source=ssslideview](https://es.slideshare.net/rubentolado144?utm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=ssslideview)
- FAO*. (Agosto de 2017). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/news/story/es/item/35675/icode/>
- Geoinformatics Tutorial*. (Agosto de 2017).
- Manipulación y procesamiento de imágenes usando Numpy y Scipy*. (Agosto de 2017). Obtenido de  
[http://pybonacci.github.io/scipy-lecture-notes-ES/advanced/image\\_processing/index.html](http://pybonacci.github.io/scipy-lecture-notes-ES/advanced/image_processing/index.html)
- Matplotlib Examples*. (Agosto de 2017). Obtenido de <https://matplotlib.org/examples/index.html#>
- Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. (Agosto de 2017). Obtenido de  
<http://www.mdpi.com/about>
- Mundo Teleco*. (Agosto de 2017). Obtenido de  
<http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com.es/2014/10/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>
- Open CV*. (Agosto de 2017). Obtenido de Open CV: <http://opencv.org/>
- OpenCV-Python Tutorials*. (Agosto de 2017). Obtenido de [https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py\\_tutorials/py\\_tutorials.html](https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_tutorials.html)
- Parrot Sequoia*. (Agosto de 2017). Obtenido de Parrot Sequoia:  
<https://www.parrot.com/es/profesional/parrot-sequoia#contenido-de-la-caja>
- PhotoScan*. (Agosto de 2017). Obtenido de Forum:  
<http://www.agisoft.com/forum/index.php?board=7.0>
- Pillow (PIL Fork)*. (Agosto de 2017). Obtenido de  
<http://pillow.readthedocs.io/en/3.4.x/reference/Image.html>

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

*Pix4d*. (Agosto de 2017). Obtenido de <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/207772556#gsc.tab=0>

*Python GDAL/OGR Cookbook 1.0 documentation*. (Agosto de 2017). Obtenido de <https://pcjericks.github.io/py-gdalogr-cookbook/index.html>

*SITNA*. (Agosto de 2017). Obtenido de <http://sitna.navarra.es/geoport/Busquedas/PorLocalidad.aspx>

*The Python Standard Library*. (Agosto de 2017). Obtenido de <https://docs.python.org/3/library/>

*The Standard Python Library*. (Agosto de 2017). Obtenido de <http://effbot.org/librarybook/#m>

*Topcon*. (Agosto de 2017). Obtenido de Topcon:  
[http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/pdf/HiPerV\\_E.pdf](http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/pdf/HiPerV_E.pdf)

*Youtube*. (Agosto de 2017). Obtenido de Tutoriales Pix4D, PhotoScan, UGCS, ENVI, QGIS:  
<https://www.youtube.com>

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

## 8 -ANEXOS

### ANEXO 1: Datos meteorológicos estación de Cadreita INTIA

Altitud

267 m.

Datos desde el 01/07/2017 hasta el 01/08/2017 en horario solar

01/07/2017

01/08/2017

Los datos son PROVISIONALES

Fecha	Temp med °C	Temp max °C	Temp mín °C	Hum relat %	Hum relat %	Hum relat %	Precip l/m²	Radiac W/m²	Insolac s	Temp med °C	Veloc med m/s	Veloc med km/h	Direc sector	Veloc m/s	Veloc km/h	Radiac W/m²	Direc °
01/07/2017	15,7	19,4	11,2	56	78	45	0,00	178,2	--	--	3,7	13,4	8	8	28,8	--	301
02/07/2017	18,6	25,9	10,5	52	78	28	0,00	322,2	--	--	4,3	15,4	8	8,1	29,3	--	339
03/07/2017	22,3	31,1	14,5	51	80	23	0,00	339,5	--	--	2,3	8,3	8	8,1	29,1	--	4
04/07/2017	25,1	35,4	13,2	50	97	18	0,00	333,6	--	--	2,3	8,4	4	6,5	23,5	--	137
05/07/2017	26,6	35,4	15,9	43	80	19	0,00	330,6	--	--	2,6	9,3	4	8,6	30,8	--	154
06/07/2017	24,7	32	18,8	50	81	28	0,20	174,9	--	--	2,1	7,7	4	11	39,4	--	229
07/07/2017	24	34	15,9	58	96	22	0,00	206,5	--	--	1,7	6	6	7,3	26,1	--	221
08/07/2017	22	32,5	17,4	66	92	23	0,20	182,8	--	--	2,6	9,3	8	8,8	31,6	--	143
09/07/2017	23,9	31,7	16,1	60	94	29	0,20	317,8	--	--	2,1	7,6	1	8,1	29,3	--	298
10/07/2017	21,2	26,8	16,7	66	91	43	0,00	264,5	--	--	3,6	12,9	8	8,3	29,8	--	332
11/07/2017	23,3	32,8	14,8	56	91	25	0,00	303,1	--	--	1,5	5,5	8	5,3	19	--	322
12/07/2017	24,9	32,7	15,8	47	78	25	0,00	325,2	--	--	3,1	11	8	7,8	28	--	343
13/07/2017	23,3	32,1	17,1	54	80	29	0,00	324,1	--	--	3,8	13,5	8	10,4	37,4	--	351
14/07/2017	21,7	28,4	16,8	51	70	30	0,00	327,7	--	--	5,2	18,8	8	10,6	38	--	350
15/07/2017	22,7	31,2	15,8	49	68	24	0,00	334,8	--	--	4,5	16,3	8	8,1	29,2	--	293
16/07/2017	25,2	34,9	15,6	51	81	19	0,00	326,7	--	--	1,8	6,6	8	5,6	20	--	309
17/07/2017	28,1	35,4	20	46	80	22	0,00	304,1	--	--	3,8	13,8	4	8,7	31,5	--	119
18/07/2017	27	35,8	19,1	48	76	19	0,00	283,3	--	--	3,9	14	4	10,5	37,6	--	135
19/07/2017	25,9	34,2	19,5	51	74	24	0,40	246,3	--	--	3,9	14	3	9	32,4	--	11
20/07/2017	22	28,7	17,4	54	70	33	0,00	318,1	--	--	4,7	17	8	11,2	40,3	--	351
21/07/2017	22,1	30,2	16,3	53	71	32	0,00	313,2	--	--	2,4	8,6	8	6,8	24,3	--	341
22/07/2017	22,1	32	14,4	52	80	20	0,00	296	--	--	2,3	8,4	8	10,1	36,5	--	349
23/07/2017	22	30,1	15,2	52	80	27	0,00	317,4	--	--	3,2	11,6	8	8,1	29,1	--	7
24/07/2017	21,6	27,6	15,9	57	80	32	0,00	288	--	--	3,9	14,1	8	10,1	36,3	--	300
25/07/2017	19,9	24,5	16,1	51	67	31	0,00	227,3	--	--	5,1	18,2	8	9,2	33	--	335
26/07/2017	22	30,6	14,4	51	79	28	0,00	302,9	--	--	3,5	12,7	8	7,7	27,6	--	3
27/07/2017	24,1	34,8	13	52	94	16	0,00	314,4	--	--	2,2	8	8	7,7	27,8	--	341
28/07/2017	25,8	35	17,4	46	83	20	0,00	312,6	--	--	2,6	9,2	8	6,7	24	--	352
29/07/2017	26,1	37	15,3	47	78	17	0,00	307,1	--	--	1,3	4,5	8	5	18,1	--	178
30/07/2017	25,6	36,7	18,8	54	81	21	0,00	269,6	--	--	2,5	9,1	8	9,4	33,9	--	340
31/07/2017	23,6	34	17,3	56	73	29	0,00	275,8	--	--	3,2	11,7	8	8,7	31,2	--	337

NOTA: Tipo de datos según el

- Valores diarios o 10 minutos correctos

- Valores diarios calculados a partir de un número de datos 10 minutos menor que 144 y mayor que 120, o de un número de datos semihorarios menor que 48 y mayor que 40 (caso de las estaciones de Riegos de Navarra y del MARMI)

- Valores diez minutos estimados

Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

## Altitud

267 m.

[Datos desde el 01/08/2017 hasta el 31/08/2017 en horario solar](#)

01/08/2017

31/08/2017

Los datos son PROVISIONALES

Fecha	Temp med °C	Temp max °C	Temp mín °C	Hum relat %	Hum relat %	Hum relat %	Precip l/m²	Radiac W/m²	Insolac total s	Temp med °C	Veloc med m/s	Veloc med km/h	Direc viento sector	Veloc racha m/s	Veloc racha km/h	Radiac neta W/m²	Direc racha °	
01/08/2017	23,1	31	18	56	71	33	0	243,4	--	--	2,9	10,6	8	6,7	24,2	--	317	Vuelo
02/08/2017	25,9	36	16,2	50	85	18	0	262,5	--	--	2	7,3	4	8,2	29,4	--	131	
03/08/2017	27,6	37,3	18,2	48	83	14	0	301,7	--	--	2,1	7,5	8	7,1	25,6	--	302	
04/08/2017	27,3	35,7	18,7	50	80	25	0	300,4	--	--	2,9	10,3	8	6,9	25	--	11	
05/08/2017	23,9	30,8	16,9	58	79	39	6,6	283,5	--	--	4,9	17,5	8	12,2	44	--	349	
06/08/2017	21,4	27,9	16,1	54	75	34	0	274,5	--	--	4,1	14,6	8	7,4	26,7	--	328	
07/08/2017	23,8	34	16,5	57	78	28	0	239	--	--	2,8	10,2	1	10,3	37,1	--	342	
08/08/2017	19,6	25	13,9	51	73	28	0	266,2	--	--	4,5	16,2	8	9,9	35,7	--	24	
09/08/2017	16,5	22	10,7	57	86	29	0	196,9	--	--	3,5	12,6	8	11,1	39,9	--	317	
10/08/2017	16,9	22,8	11,5	55	75	36	0	203	--	--	4,2	15,1	8	10,5	37,8	--	333	
11/08/2017	18,1	25,1	10,7	49	80	25	0	302,8	--	--	4	14,3	8	9,8	35,3	--	22	
12/08/2017	20,2	30,9	9,7	47	82	13	0	298,5	--	--	2,3	8,2	8	7,1	25,5	--	17	Vuelo
13/08/2017	22,5	32,9	12,1	50	81	18	0	297,3	--	--	1,3	4,6	7	3,7	13,5	--	273	
14/08/2017	25	35,3	16,4	53	83	19	0	264,6	--	--	2,7	9,6	4	8,9	31,9	--	289	
15/08/2017	23,8	33,1	17,5	55	81	25	0,2	221,1	--	--	2,1	7,6	4	7,5	27	--	340	
16/08/2017	23	31,6	15,7	56	84	30	0	272,5	--	--	2,6	9,5	8	7,8	28,2	--	21	
17/08/2017	23,7	35,2	12,6	48	83	13	0	284,7	--	--	1,1	4	8	3,9	14	--	0	
18/08/2017	22,8	30,1	17,3	59	82	35	0	273,2	--	--	3,6	13	8	11	39,6	--	1	
19/08/2017	21,7	28,7	16,7	50	74	25	0	278,2	--	--	4,1	14,7	8	8,5	30,7	--	348	
20/08/2017	21,5	30,3	13,9	43	73	13	0	289,5	--	--	4,6	16,7	8	8	28,6	--	309	
21/08/2017	22,4	34,8	10,7	50	85	17	0	286,8	--	--	1,4	5,1	5	5,7	20,6	--	146	
22/08/2017	26	36,4	15,9	51	84	24	0	247,2	--	--	2,2	7,9	8	7,1	25,6	--	323	
23/08/2017	24	33,1	17,7	58	83	30	0	210,4	--	--	2	7,3	8	9,2	33	--	66	Vuelo
24/08/2017	24,5	32,9	16,9	59	86	30	16,8	249,5	--	--	2,2	7,8	4	6,6	23,7	--	147	
25/08/2017	25,1	34,1	15,9	58	94	26	0	245,7	--	--	2,3	8,1	4	7	25,1	--	111	
26/08/2017	25,8	34,2	17,9	54	82	24	0	193,2	--	--	1,9	6,8	4	8,4	30,2	--	150	
27/08/2017	20,8	27,4	17,3	83	96	47	0	82,6	--	--	0,9	3,2	1	5	18,1	--	290	
28/08/2017	20,1	27,9	16	83	98	43	11,8	131	--	--	1,5	5,5	8	7,4	26,7	--	296	
29/08/2017	18,9	26,6	14,5	86	98	53	3,6	150,8	--	--	1,2	4,3	5	6,8	24,5	--	164	Vuelo
30/08/2017	19,6	27,5	14,8	82	98	44	0	167,3	--	--	1,7	6	1	6,6	23,9	--	297	

NOTA: Tipo de datos según el o

- Valores diarios o 10 minutos correctos

- Valores diarios calculados a partir de un número de datos 10 minutos menor que 144 y mayor que 120, o de un número de datos semihorarios menor que 48 y mayor que 40 (caso de las estaciones de Riegos de Navarra y del MARMI)

- Valores diez minutos estimados



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

## Altitud

267 m.

[Datos desde el 01/09/2017 hasta el 11/09/2017 en horario solar](#)

01/09/2017

11/09/2017

Los datos son:

Fecha	Temp °C	Temp °C	Temp °C	Hum relativa %	Hum relativa %	Hum relativa %	Precip l/m²	Radiac W/m²	Insolac s	Temp media °C	Veloc media m/s	Veloc media km/h	Direc viento 2 m sector	Veloc racha máx m/s	Veloc racha máx km/h	Radiac neta W/m²	Direc racha máx °
29/08/2017	18,9	26,6	14,5	86	98	53	3,6	150,8	--	--	1,2	4,3	5	6,8	24,5	--	164
30/08/2017	19,6	27,5	14,8	82	98	44	0	167,3	--	--	1,7	6	1	6,6	23,9	--	297
01/09/2017	17,2	23,9	11,7	60	84	23	1	238,7	--	--	3,5	12,5	8	10,1	36,4	--	351
02/09/2017	17,5	24	11,9	59	85	34	0	256,3	--	--	3	10,7	8	7,5	26,9	--	5
03/09/2017	18,4	25,9	11,8	68	95	28	0	183,1	--	--	0,7	2,6	8	3	10,9	--	341
04/09/2017	21,4	28,8	15	65	92	33	0	248,6	--	--	1,6	5,9	8	6,4	22,9	--	318
05/09/2017	21,4	31,2	13,3	68	96	31	0	245	--	--	2	7,2	8	7,1	25,7	--	0
06/09/2017	19,8	26	14	60	74	43	0	190,7	--	--	4,6	16,6	8	10,2	36,9	--	354
07/09/2017	17,5	24,4	11,9	58	81	34	0	228,6	--	--	4,1	14,7	8	8,6	30,8	--	345
08/09/2017	17,2	27,5	9,4	63	92	23	0	234,7	--	--	1,4	4,9	7	4,9	17,5	--	282
09/09/2017	16,5	21,8	11,8	65	92	37	0,8	114,2	--	--	3,3	12	8	10,1	36,5	--	329
10/09/2017	16,9	23	11,4	58	85	30	0,2	137	--	--	4,2	15	8	11	39,6	--	325
11/09/2017	18,1	25,2	12,2	66	92	40	0	176,6	--	--	3	10,6	1	9,1	32,8	--	3

NOTA: Tipo de datos según el o

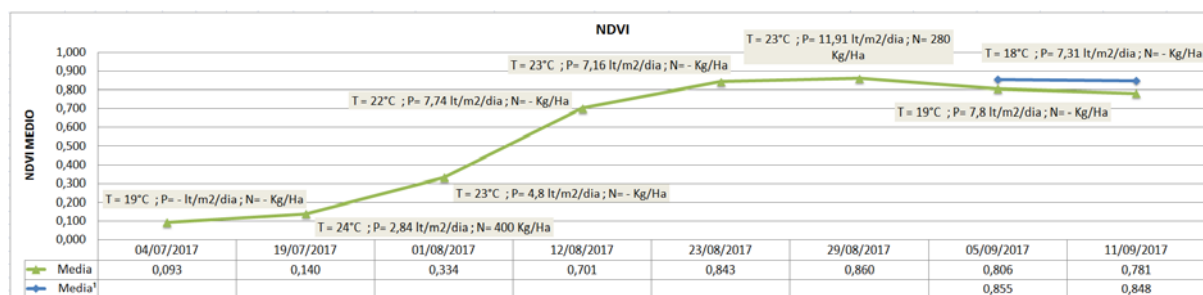
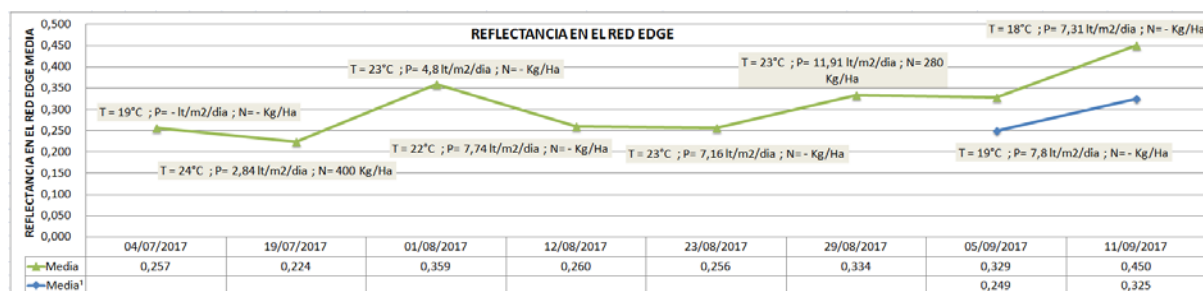
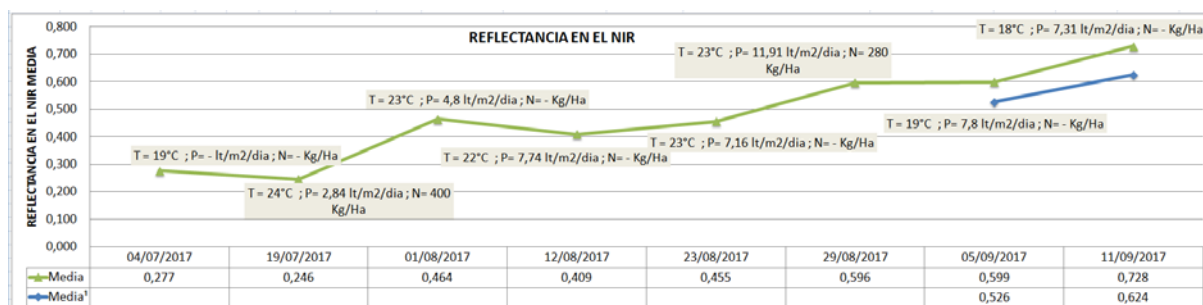
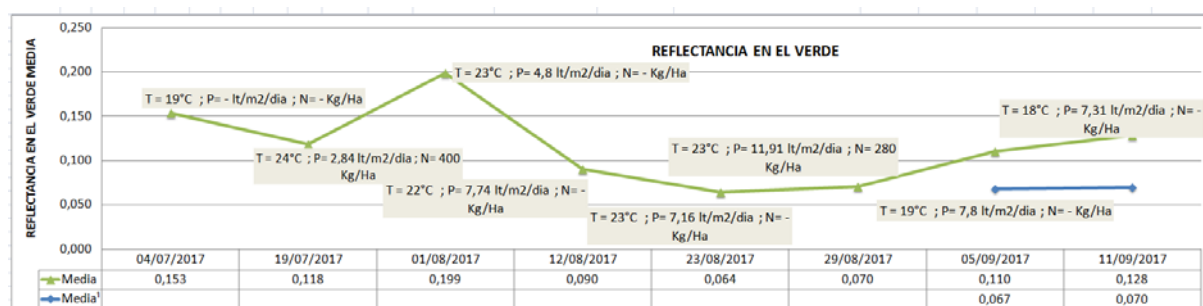
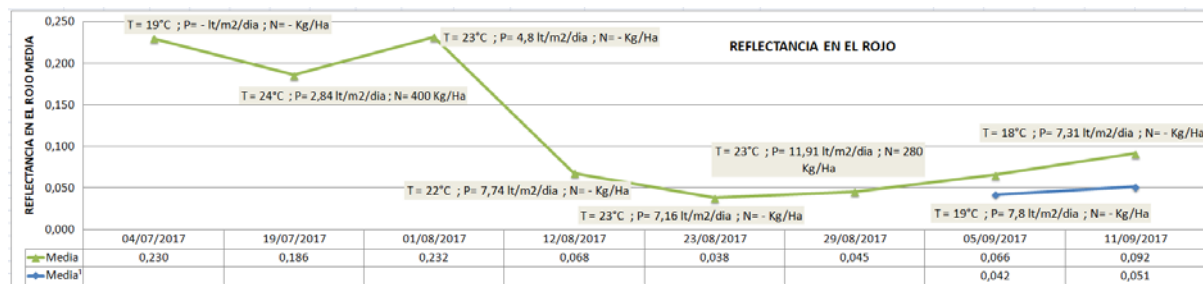
- Valores diarios o 10 minutos correctos

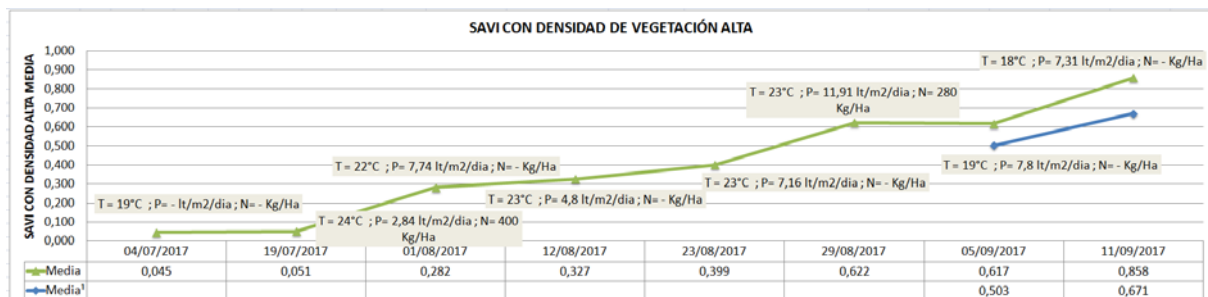
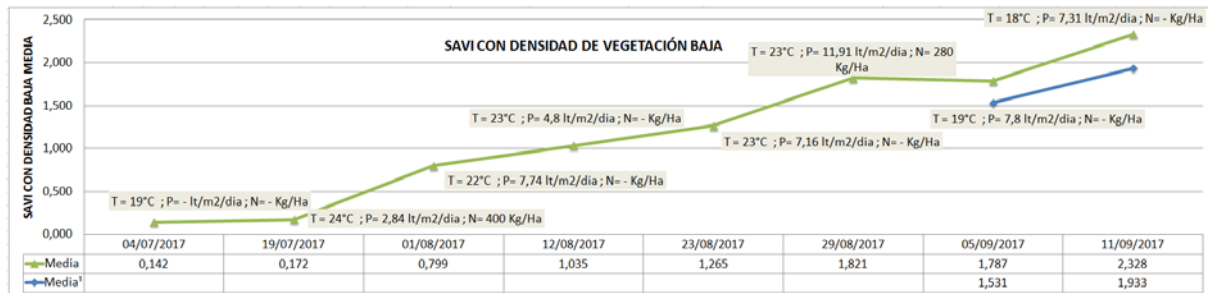
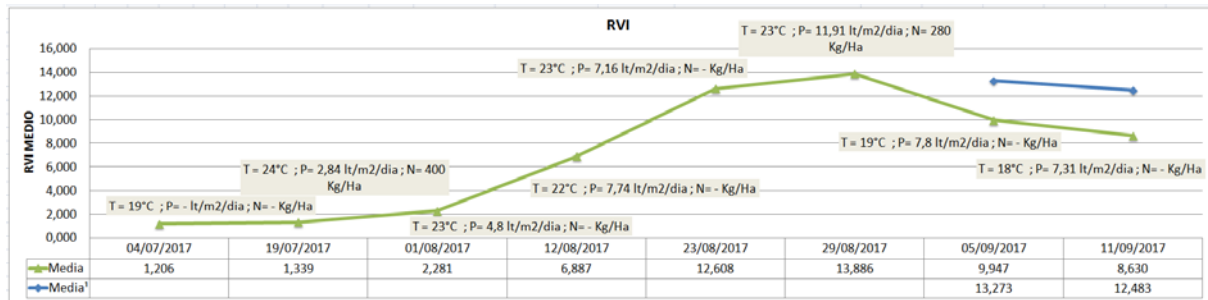
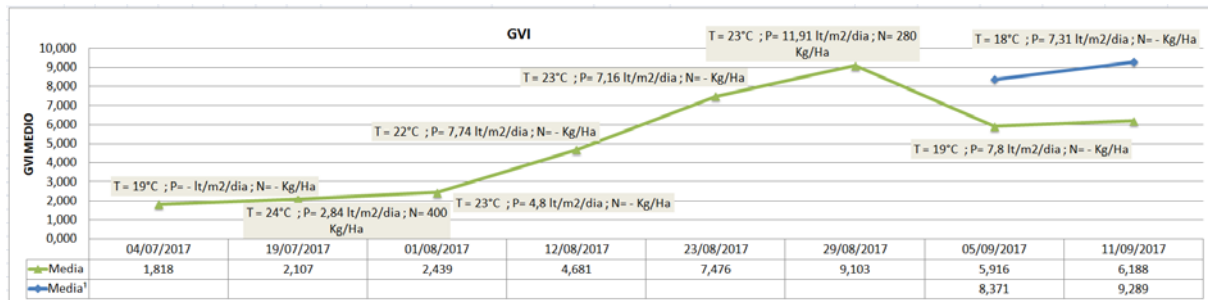
- Valores diarios calculados a partir de un número de datos 10 minutos menor que 144 y mayor que 120, o de un número de datos semihorarios menor que 48 y mayor que 40 (caso de las estaciones de Riegos de Navarra y del MARIM)

- Valores diez minutos estimados

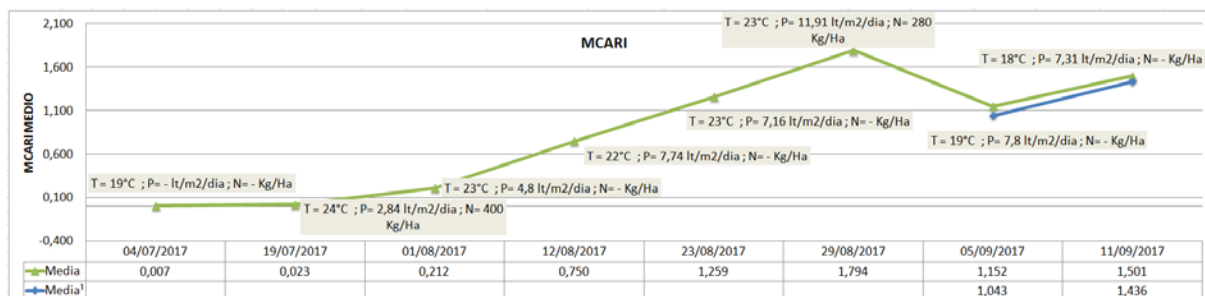
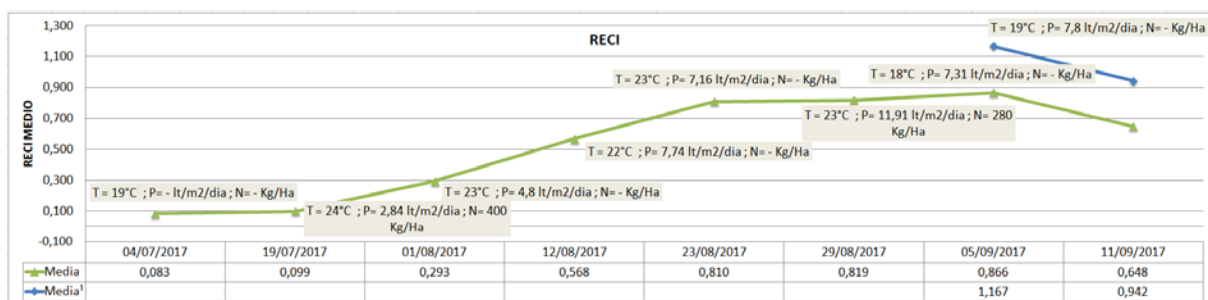
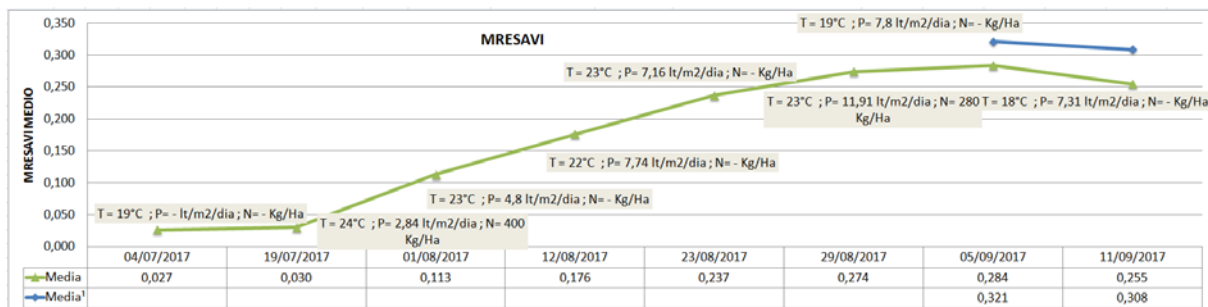
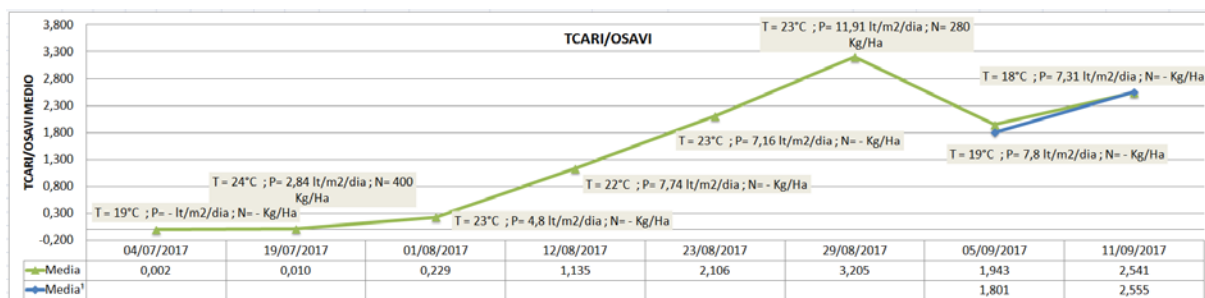
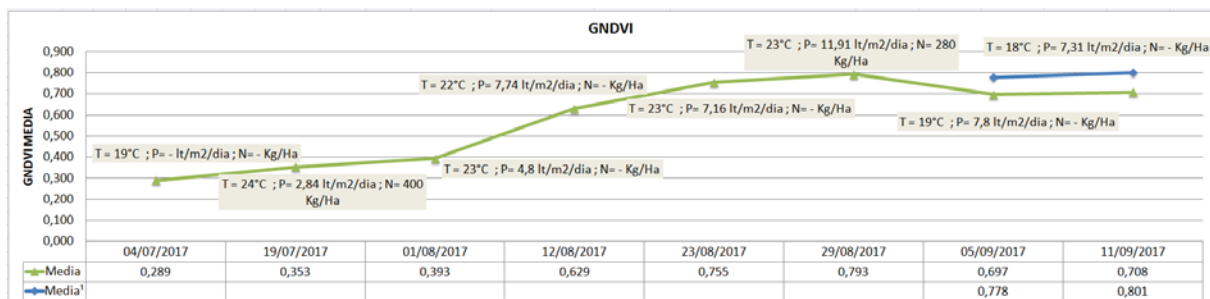
Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

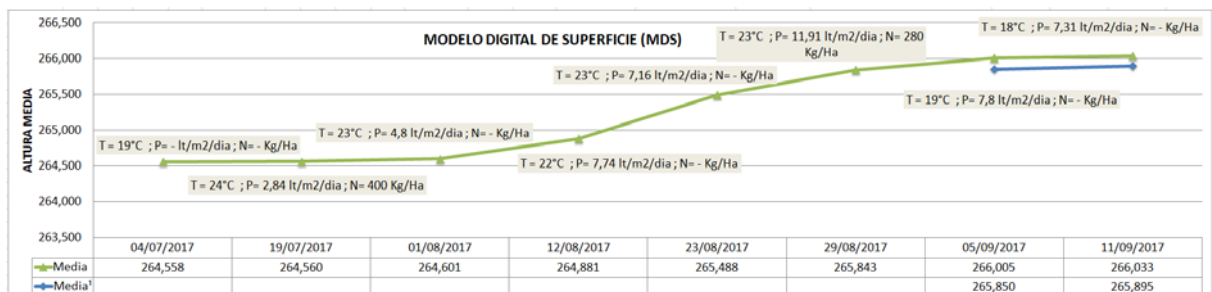
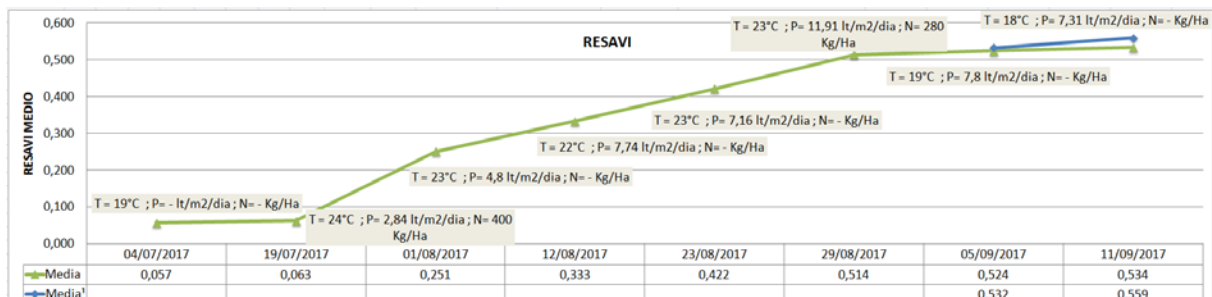
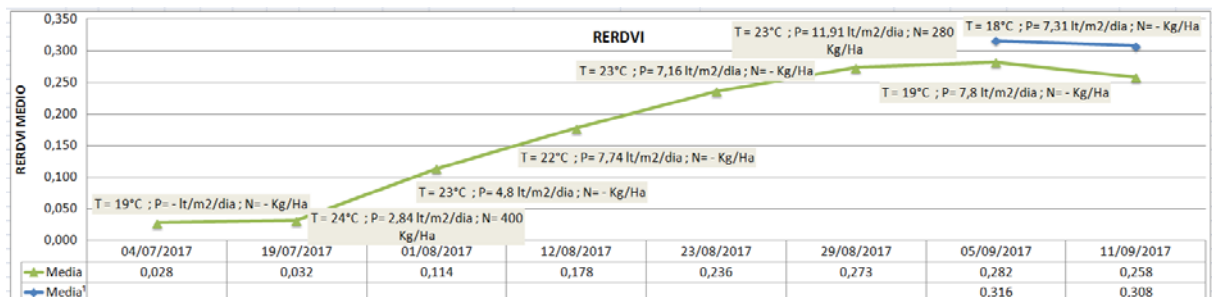
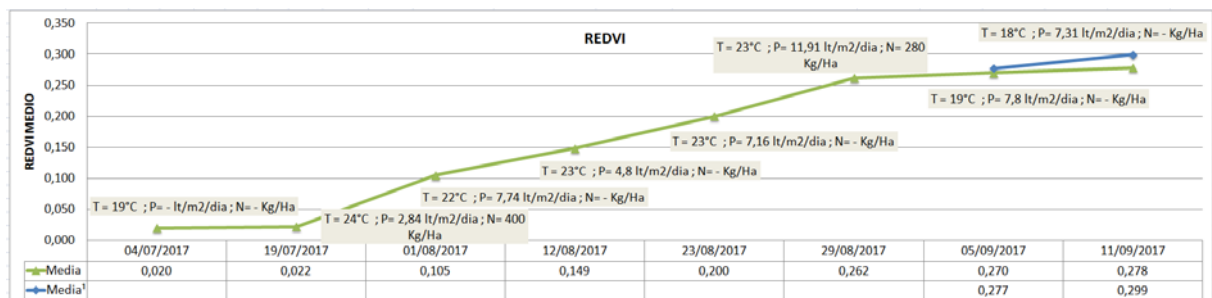
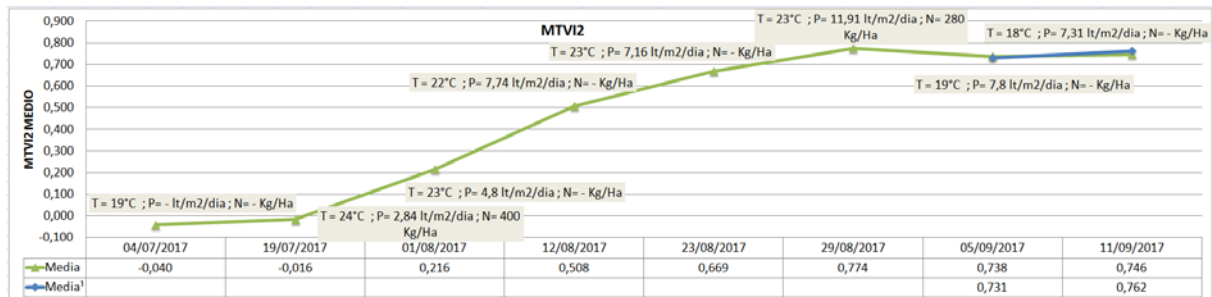
## ANEXO 2: Gráficos de las medias de los índices por día





Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.



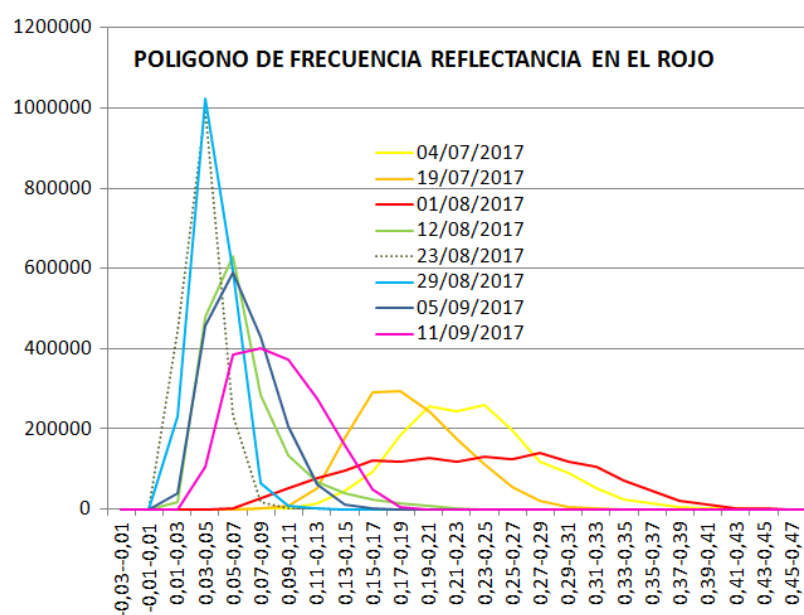




Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

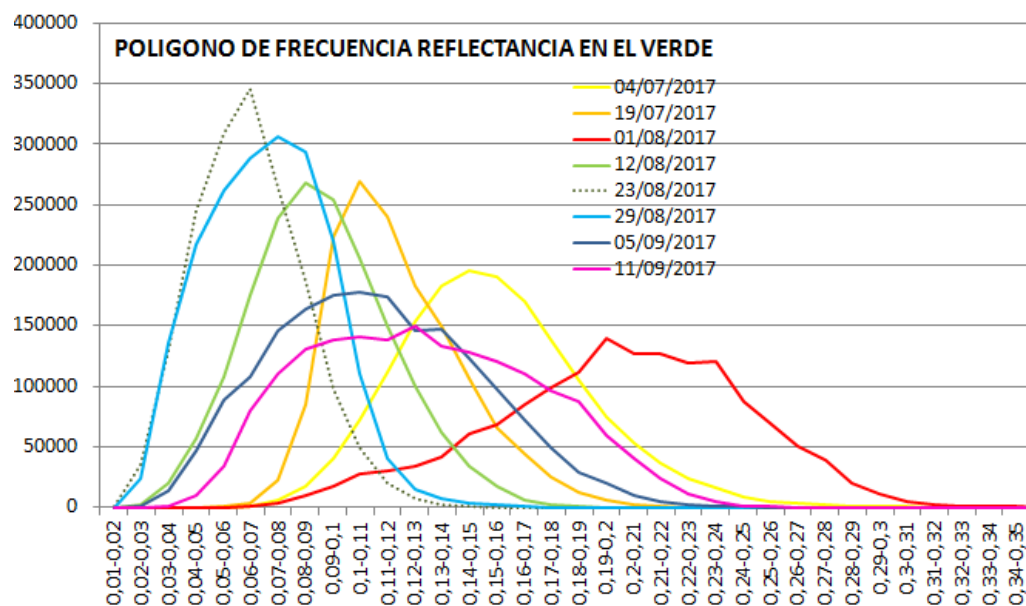
### **ANEXO 3: Gráficos polígonos de frecuencias para los índices en distintas fechas**

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,03--0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,01-0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0,01-0,03	0	0	0	17460	443437	230011	39743	164
0,03-0,05	0	0	6	479103	994695	1022492	457914	104464
0,05-0,07	5	0	2754	631412	234462	593098	588178	384755
0,07-0,09	441	497	25538	285052	18738	64768	430532	401518
0,09-0,11	2906	9574	50909	133622	959	9453	204579	371707
0,11-0,13	13991	53526	77523	69248	310	1929	61835	274965
0,13-0,15	47127	176813	95039	38166	111	121	11513	158303
0,15-0,17	92576	290124	122015	22763	7	3	1460	47568
0,17-0,19	185051	294986	118482	14491	1	0	86	5272
0,19-0,21	256756	242979	129059	7109	0	1	2	156
0,21-0,23	245293	175817	117479	1585	0	0	0	7
0,23-0,25	258947	110636	131758	210	0	0	0	4
0,25-0,27	197080	56034	125214	57	0	0	0	2
0,27-0,29	118117	21222	139019	23	0	0	0	1
0,29-0,31	89997	4878	117631	9	0	0	0	0
0,31-0,33	53565	764	105665	2	0	0	0	0
0,33-0,35	24661	16	70045	0	0	0	0	0
0,35-0,37	13210	0	46872	0	0	0	0	0
0,37-0,39	5553	0	21292	0	0	0	0	0
0,39-0,41	1928	0	10267	0	0	0	0	0
0,41-0,43	815	0	3310	0	0	0	0	0
0,43-0,45	215	0	1063	0	0	0	0	0
0,45-0,47	61	0	204	0	0	0	0	0
0,47-0,49	18	0	42	0	0	0	0	0
0,49-0,51	8	0	1	0	0	0	0	0
0,51-0,53	3	0	0	0	0	0	0	0
0,53-0,55	3	0	0	0	0	0	0	0
0,55-0,57	7	0	0	0	0	0	0	0
0,57-0,59	0	0	0	0	0	0	0	0
0,59-0,61	1	0	0	0	0	0	0	0
0,61-0,63	1	0	0	0	0	0	0	0
0,63-0,65	0	0	0	0	0	0	0	0
0,65-0,67	3	0	0	0	0	0	0	0
0,67-0,69	1	0	0	0	0	0	0	0
0,69-0,71	2	0	0	0	0	0	0	0
0,71-0,73	2	0	0	0	0	0	0	0
0,73-0,75	0	0	0	0	0	0	0	0
0,75-0,77	0	0	0	0	0	0	0	0



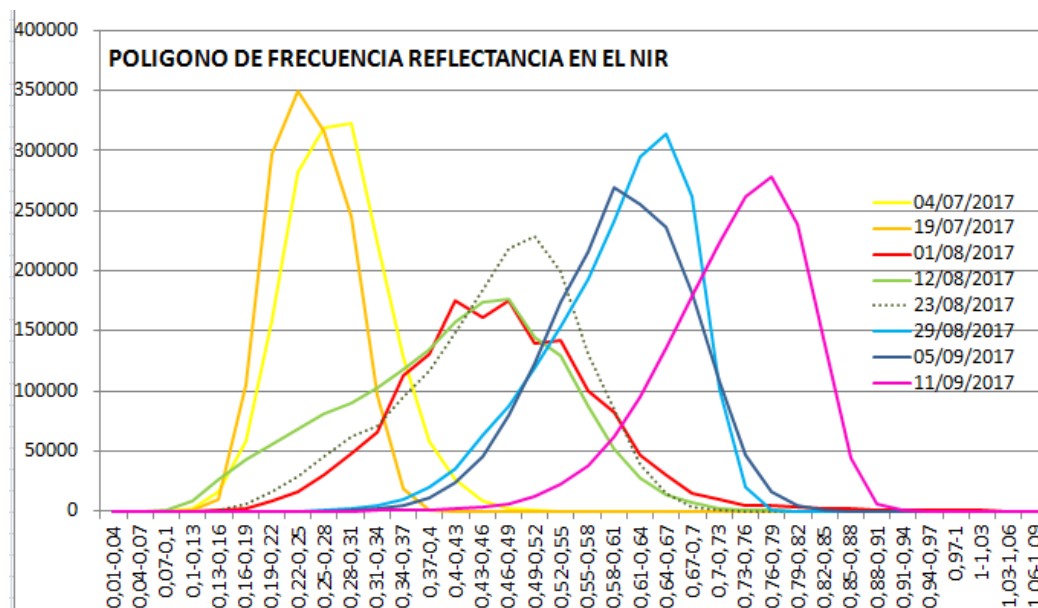
Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
0,01-0,02	0	0	0	1	238	36	0	0
0,02-0,03	0	0	0	1952	34780	23382	1085	25
0,03-0,04	0	0	0	20119	129751	135097	13871	1289
0,04-0,05	0	1	0	56862	245543	216778	46791	9809
0,05-0,06	140	296	92	108010	309198	261012	88131	33623
0,06-0,07	1275	3277	974	174639	345404	288542	108212	80231
0,07-0,08	6084	22368	3998	238686	264269	305893	146387	109862
0,08-0,09	17954	85006	10305	268579	186721	292856	163432	130506
0,09-0,1	40330	223458	17928	253461	96881	219710	175103	138583
0,1-0,11	72302	268989	27839	206073	49650	110710	177860	140237
0,11-0,12	111405	240329	29716	149988	19653	40293	173344	138620
0,12-0,13	153735	182506	34444	100081	7484	14303	146294	149793
0,13-0,14	182512	149096	41732	61602	2237	6704	146509	133068
0,14-0,15	195823	106006	60908	34493	647	3754	122904	127887
0,15-0,16	190108	66258	68109	17874	188	1945	97746	120765
0,16-0,17	170550	44210	84163	5618	60	666	72229	110643
0,17-0,18	138603	25364	99194	1576	16	168	49175	96518
0,18-0,19	104803	12606	111307	501	0	22	28541	87500
0,19-0,2	74460	6152	139442	115	0	0	19430	59313
0,2-0,21	52555	1745	127319	14	0	0	10148	40156
0,21-0,22	35992	197	127064	5	0	0	5164	23605
0,22-0,23	23551	2	119629	1	0	0	2176	11348
0,23-0,24	15908	0	120717	1	0	0	831	4067
0,24-0,25	8606	0	87651	0	0	0	351	1203
0,25-0,26	5091	0	69043	1	0	0	89	220
0,26-0,27	2992	0	50974	0	0	0	30	15
0,27-0,28	1740	0	38732	0	0	0	9	1
0,28-0,29	988	0	20195	0	0	0	0	0
0,29-0,3	479	0	10659	0	0	0	0	0
0,3-0,31	228	0	4959	0	0	0	0	0
0,31-0,32	79	0	2187	0	0	0	0	0
0,32-0,33	34	0	991	0	0	0	0	0
0,33-0,34	10	0	424	0	0	0	0	0
0,34-0,35	3	0	207	0	0	0	0	0
0,35-0,36	3	0	133	0	0	0	0	0
0,36-0,37	1	0	84	0	0	0	0	0
0,37-0,38	0	0	34	0	0	0	0	0
0,38-0,39	0	0	24	0	0	0	0	0
0,39-0,4	0	0	9	0	0	0	0	0
0,4-0,41	0	0	1	0	0	0	0	0

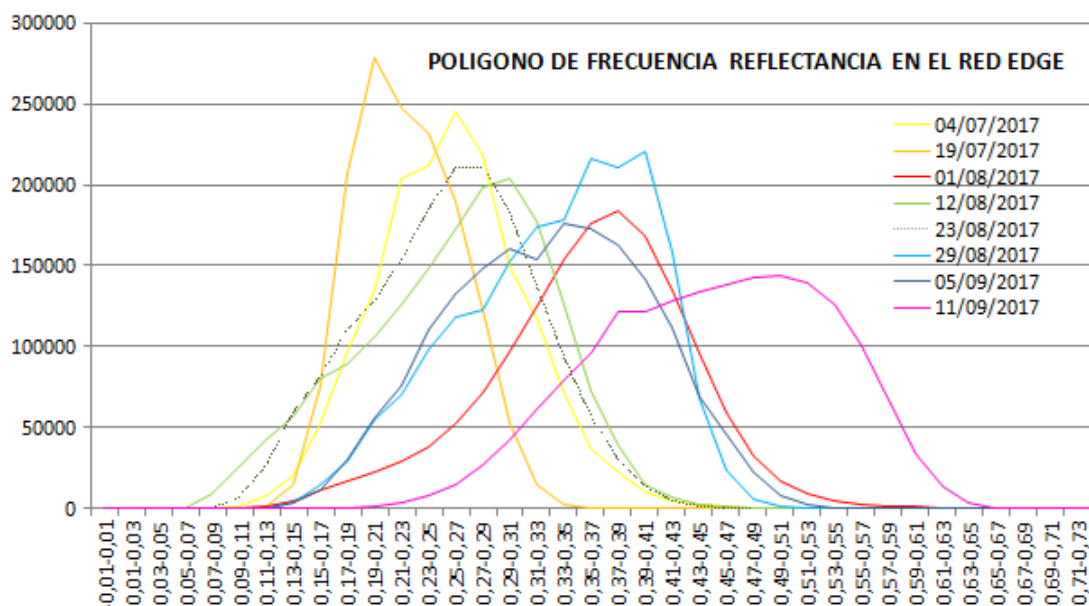


Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
0,01-0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
0,04-0,07	0	0	0	0	0	0	0	0
0,07-0,1	29	1	0	381	0	0	0	0
0,1-0,13	1730	528	15	8168	44	0	0	0
0,13-0,16	16538	10167	306	26025	938	0	0	0
0,16-0,19	58467	104730	1968	42450	5381	0	0	0
0,19-0,22	159107	297068	8745	55781	15709	0	0	0
0,22-0,25	282422	349395	16069	68303	28992	89	3	0
0,25-0,28	319157	316361	30042	81255	44992	644	98	24
0,28-0,31	323065	244594	47493	90075	61937	1972	518	82
0,31-0,34	223504	96026	66018	102373	71173	4507	1540	283
0,34-0,37	127939	18027	112991	117437	94622	9634	4721	555
0,37-0,4	58668	939	130405	134961	117212	19299	11197	987
0,4-0,43	26316	30	174613	157337	147946	35163	23427	1620
0,43-0,46	8414	0	161428	173334	183950	63088	44756	3388
0,46-0,49	2219	0	175095	176099	218421	87603	79574	6446
0,49-0,52	476	0	140070	144744	228439	119295	123418	11832
0,52-0,55	96	0	141616	129588	198749	153813	173674	21988
0,55-0,58	35	0	99985	87536	130275	193306	215640	37919
0,58-0,61	15	0	82837	51661	84792	241684	268637	62326
0,61-0,64	10	0	46623	28105	39553	294070	254870	94986
0,64-0,67	5	0	30308	14168	14572	314254	235899	135473
0,67-0,7	3	0	14437	6629	3794	261242	181951	179140
0,7-0,73	2	0	9175	2657	503	101181	107289	223324
0,73-0,76	5	0	5099	927	52	19608	47246	261654
0,76-0,79	1	0	4109	254	11	1385	15817	278250
0,79-0,82	1	0	3198	48	1	38	4403	238731
0,82-0,85	0	0	2195	15	0	0	937	138308
0,85-0,88	0	0	1982	1	0	1	192	44352
0,88-0,91	0	0	1457	0	0	0	30	6548
0,91-0,94	0	0	1186	0	0	0	5	632
0,94-0,97	0	0	713	0	0	0	0	39
0,97-1	0	0	536	0	0	0	0	0
1-1,03	0	0	270	0	0	0	0	0
1,03-1,06	0	0	152	0	0	0	0	0
1,06-1,09	0	0	40	0	0	0	0	0
1,09-1,12	0	0	8	0	0	0	0	0
1,12-1,15	0	0	3	0	0	0	0	0
1,15-1,18	0	0	0	0	0	0	0	0
1,18-1,21	0	0	0	0	0	0	0	0

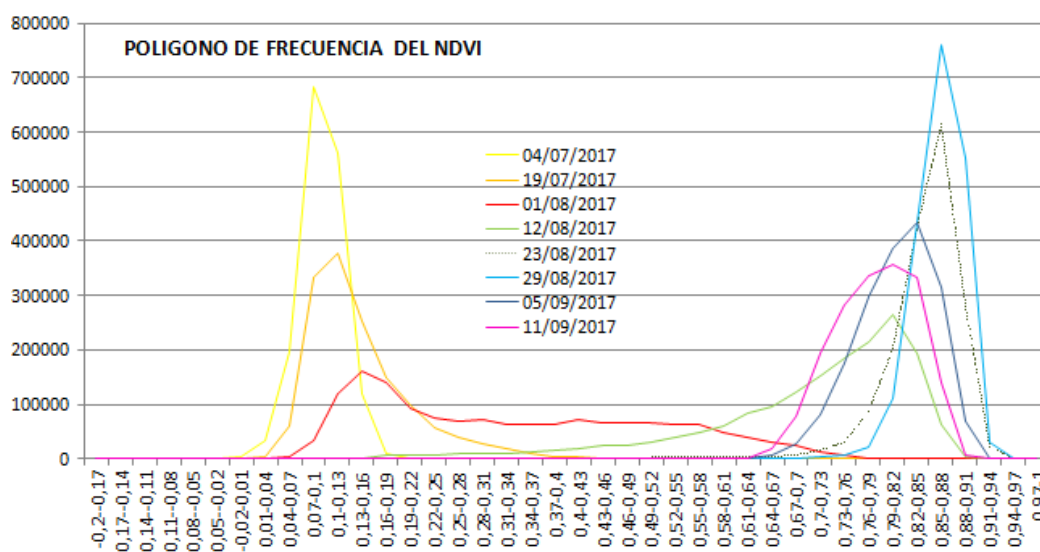


Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,01-0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0,01-0,03	0	0	0	0	0	0	0	0
0,03-0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
0,05-0,07	0	0	0	514	3	0	0	0
0,07-0,09	136	0	7	9004	544	0	1	0
0,09-0,11	1464	71	165	26282	6662	5	66	0
0,11-0,13	7644	1615	1243	42204	27043	321	688	0
0,13-0,15	20753	14432	5143	56892	59160	3626	3236	19
0,15-0,17	52420	75812	11309	80526	81423	14142	11748	153
0,17-0,19	97471	206935	17466	89152	110000	29491	29863	710
0,19-0,21	134777	278347	22337	106398	128383	55180	55804	1618
0,21-0,23	203482	247513	28699	126236	153425	70446	75722	3442
0,23-0,25	211993	231582	37861	148081	184717	98217	110109	7549
0,25-0,27	244927	189372	52129	172929	210473	117812	132437	15211
0,27-0,29	217888	122233	71929	197962	210114	122295	148205	27089
0,29-0,31	149901	53040	96863	204023	182523	152729	160519	42984
0,31-0,33	116816	14872	125278	176865	137585	173792	153832	61101
0,33-0,35	71284	1974	153670	125508	93527	178436	175618	79727
0,35-0,37	36752	61	176081	72767	56509	216524	172962	96137
0,37-0,39	22341	5	183717	39224	30027	211103	162314	121907
0,39-0,41	10561	1	168708	15033	13570	220739	141684	121136
0,41-0,43	4340	1	134996	6399	5016	157923	111992	127764
0,43-0,45	2143	0	95493	2711	1539	67819	69123	134083
0,45-0,47	832	0	59539	1074	391	23499	46253	138613
0,47-0,49	239	0	32473	367	81	5576	22148	142557
0,49-0,51	103	0	16488	128	5	1823	8194	143285
0,51-0,53	45	0	8583	23	0	345	2591	139080
0,53-0,55	15	0	4962	6	0	30	575	125806
0,55-0,57	7	0	2888	3	0	2	140	100915
0,57-0,59	4	0	1645	0	0	1	13	66505
0,59-0,61	4	0	852	0	0	0	5	33786
0,61-0,63	1	0	402	1	0	0	0	13741
0,63-0,65	0	0	190	0	0	0	0	3282
0,65-0,67	1	0	47	0	0	0	0	619
0,67-0,69	0	0	19	0	0	0	0	65
0,69-0,71	0	0	4	0	0	0	0	3
0,71-0,73	0	0	1	0	0	0	0	0
0,73-0,75	0	0	0	0	0	0	0	0
0,75-0,77	0	0	0	0	0	0	0	0
0,77-0,79	0	0	0	0	0	0	0	0



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

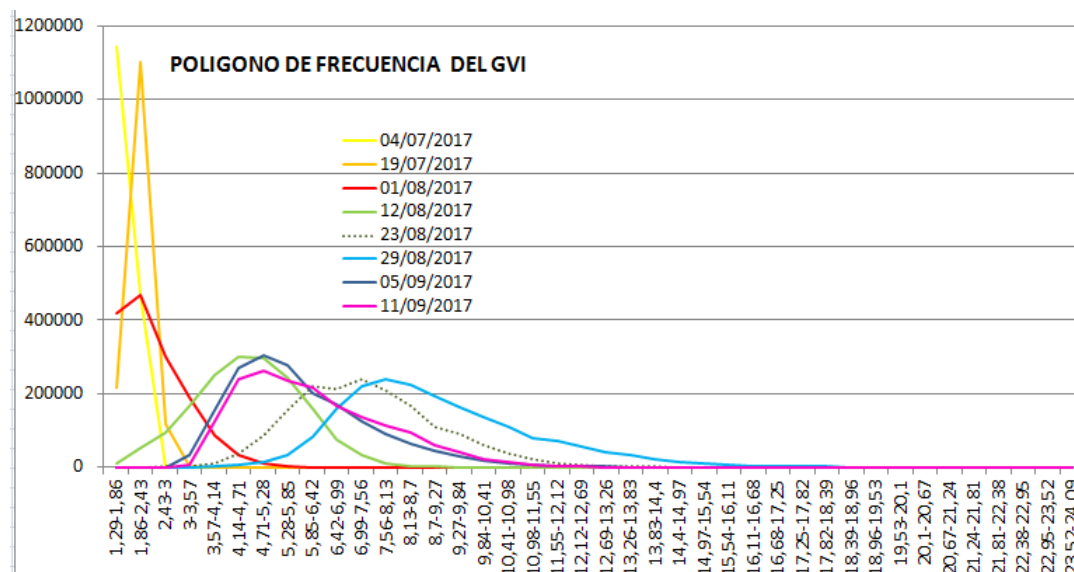
Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,2--0,17	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,17--0,14	2	0	0	0	0	0	0	0
-0,14--0,11	3	2	0	0	0	0	0	0
-0,11--0,08	13	4	0	0	0	0	0	0
-0,08--0,05	96	7	0	0	0	0	0	0
-0,05--0,02	619	34	0	0	0	0	0	0
-0,02--0,01	4660	287	4	0	0	0	0	0
0,01--0,04	33667	4048	115	0	0	0	0	0
0,04--0,07	197001	59400	2690	0	0	0	0	0
0,07--0,1	682135	334180	31864	11	0	0	0	0
0,1--0,13	560767	378539	118583	111	0	0	0	0
0,13--0,16	119542	253900	160460	1495	0	0	0	0
0,16--0,19	9156	150310	139177	6253	0	0	0	0
0,19--0,22	615	97729	91914	7685	0	0	0	0
0,22--0,25	56	56960	75427	7630	0	0	0	0
0,25--0,28	8	39095	67666	9012	3	0	0	0
0,28--0,31	0	26276	70861	9303	25	0	0	0
0,31--0,34	2	17829	63040	10423	45	0	0	0
0,34--0,37	1	9191	62551	12506	72	0	0	0
0,37--0,4	1	5026	63049	14398	146	0	0	0
0,4--0,43	0	2723	71964	17180	233	0	0	0
0,43--0,46	0	1405	65970	23361	371	0	0	0
0,46--0,49	0	560	66680	25661	612	0	0	2
0,49--0,52	0	260	65673	31121	797	1	0	3
0,52--0,55	0	82	62951	39004	1052	1	0	9
0,55--0,58	0	17	64364	48195	1402	2	1	33
0,58--0,61	0	2	49335	59853	2217	1	32	152
0,61--0,64	0	0	40173	84642	3042	6	668	2083
0,64--0,67	0	0	31340	96320	4529	75	5377	18561
0,67--0,7	0	0	24551	121197	8022	674	26197	77717
0,7--0,73	0	0	12626	151228	14147	2666	81846	192251
0,73--0,76	0	0	5939	183596	29994	7777	177051	283543
0,76--0,79	0	0	1929	214720	85440	22061	298753	336097
0,79--0,82	0	0	226	263952	201043	109907	387808	358049
0,82--0,85	0	0	5	192890	423804	434787	432944	333168
0,85--0,88	0	0	0	64376	614341	759873	314421	140999
0,88--0,91	0	0	0	3588	281259	554135	70122	6219
0,91--0,94	0	0	0	1	20105	29780	622	0
0,94--0,97	0	0	0	0	17	130	0	0
0,97--1	0	0	0	0	0	0	0	0





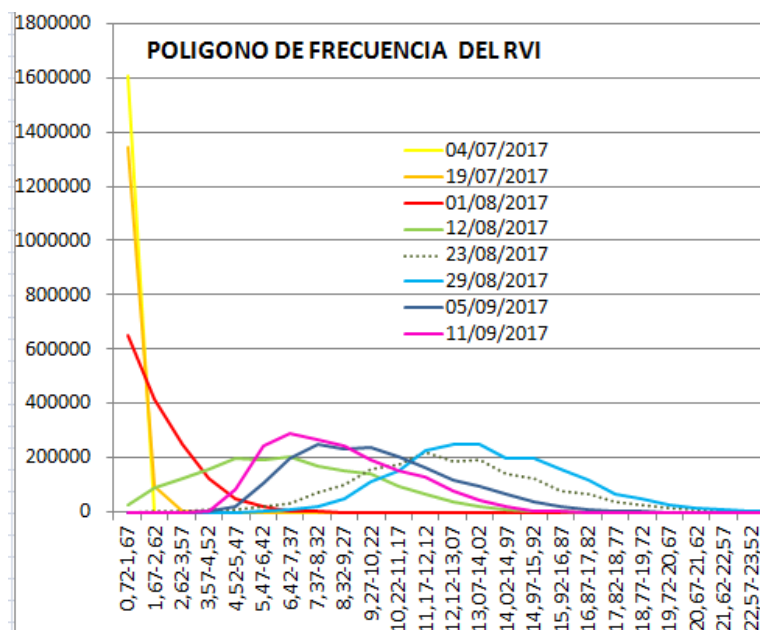
Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
1,29-1,86	1141797	215821	420059	11284	0	0	0	0
1,86-2,43	466233	1101822	469048	52642	51	0	0	0
2,43-3	286	117418	299286	94691	902	0	508	10
3-3,57	11	2739	190744	166235	3923	42	31927	7864
3,57-4,14	3	64	85820	251099	10393	784	153517	125885
4,14-4,71	2	2	32898	301001	35788	5149	267894	239961
4,71-5,28	0	0	10452	297659	85128	12782	303845	260832
5,28-5,85	0	0	2430	244699	155717	31955	276062	235763
5,85-6,42	0	0	387	157845	218418	82114	201990	216958
6,42-6,99	0	0	46	74605	213736	158315	170834	166829
6,99-7,56	0	0	2	32810	238907	221604	124757	137660
7,56-8,13	0	0	0	11223	209187	240268	89327	113156
8,13-8,7	0	0	0	3411	166780	223600	62247	95250
8,7-9,27	0	0	0	851	111199	194549	42897	61122
9,27-9,84	0	0	0	210	91518	163573	28182	40095
9,84-10,41	0	0	0	37	60534	135944	17892	23472
10,41-10,98	0	0	0	8	38407	110708	9929	13620
10,98-11,55	0	0	0	2	22963	77295	6604	5884
11,55-12,12	0	0	0	0	11852	72208	3595	2741
12,12-12,69	0	0	0	0	8082	55879	1959	1215
12,69-13,26	0	0	0	0	4277	42286	1018	380
13,26-13,83	0	0	0	0	2298	31158	462	122
13,83-14,4	0	0	0	0	1244	21674	232	46
14,4-14,97	0	0	0	0	576	14850	98	18
14,97-15,54	0	0	0	0	369	9703	42	3
15,54-16,11	0	0	0	0	228	6182	19	1
16,11-16,68	0	0	0	0	124	3912	0	0
16,68-17,25	0	0	0	0	62	2361	4	0
17,25-17,82	0	0	0	0	28	1363	1	0
17,82-18,39	0	0	0	0	8	773	0	0
18,39-18,96	0	0	0	0	10	444	0	0
18,96-19,53	0	0	0	0	4	199	0	0
19,53-20,1	0	0	0	0	1	106	0	0
20,1-20,67	0	0	0	0	2	43	0	0
20,67-21,24	0	0	0	0	2	30	0	0
21,24-21,81	0	0	0	0	0	9	0	0
21,81-22,38	0	0	0	0	0	3	0	0
22,38-22,95	0	0	0	0	0	4	0	0
22,95-23,52	0	0	0	0	0	1	0	0
23,52-24,09	0	0	0	0	0	0	0	0



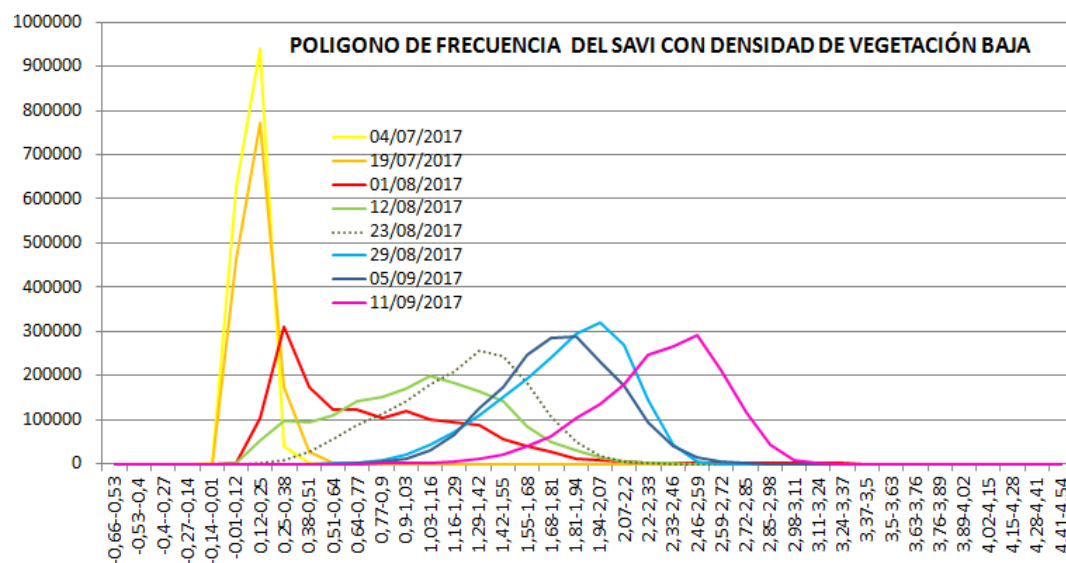
Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
0,72-1,67	1608335	1341731	650652	26113	0	0	0	0
1,67-2,62	9	94875	415182	92073	1017	0	0	0
2,62-3,57	0	1251	247329	125556	3264	3	0	30
3,57-4,52	0	9	123110	160482	6652	9	1164	2388
4,52-5,47	0	0	48905	199437	9862	644	23356	83829
5,47-6,42	0	0	18686	193731	20665	4176	108391	245840
6,42-7,37	0	0	5512	202848	33954	8167	199876	288531
7,37-8,32	0	0	1522	171831	71822	20433	250057	265551
8,32-9,27	0	0	271	153698	10112	50778	235497	243707
9,27-10,22	0	0	15	138303	161093	111823	241252	190230
10,22-11,17	0	0	3	96861	174542	153570	205876	155375
11,17-12,12	0	0	0	69009	218813	226680	165748	127169
12,12-13,07	0	0	0	36351	186961	250437	118145	77780
13,07-14,02	0	0	0	18914	191339	247987	97378	41803
14,02-14,97	0	0	0	9518	138853	196622	65563	18755
14,97-15,92	0	0	0	3489	122952	200435	40856	5730
15,92-16,87	0	0	0	1466	80142	159950	21431	1682
16,87-17,82	0	0	0	419	65146	116126	12121	404
17,82-18,77	0	0	0	163	38515	67810	5427	68
18,77-19,72	0	0	0	44	28712	49124	2313	13
19,72-20,67	0	0	0	5	15482	27187	818	1
20,67-21,62	0	0	0	1	10290	13942	367	0
21,62-22,57	0	0	0	0	5111	7225	142	0
22,57-23,52	0	0	0	0	3078	3376	50	0
23,52-24,47	0	0	0	0	1418	2144	12	0
24,47-25,42	0	0	0	0	936	1299	0	0
25,42-26,37	0	0	0	0	509	734	2	0
26,37-27,32	0	0	0	0	239	390	0	0
27,32-28,27	0	0	0	0	117	331	0	0
28,27-29,22	0	0	0	0	61	173	0	0
29,22-30,17	0	0	0	0	32	141	0	0
30,17-31,12	0	0	0	0	14	61	0	0
31,12-32,07	0	0	0	0	8	50	0	0
32,07-33,02	0	0	0	0	2	20	0	0
33,02-33,97	0	0	0	0	5	15	0	0
33,97-34,92	0	0	0	0	0	7	0	0
34,92-35,87	0	0	0	0	0	2	0	0
35,87-36,82	0	0	0	0	0	1	0	0
36,82-37,77	0	0	0	0	0	2	0	0
37,77-38,72	0	0	0	0	0	2	0	0



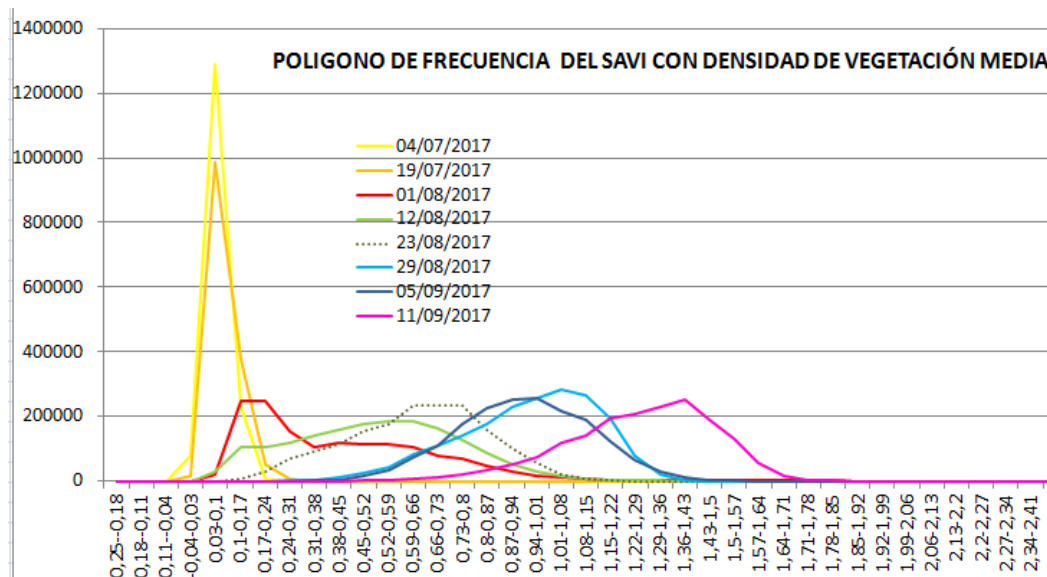
Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,66--0,5	1	0	0	0	0	0	0	0
-0,53--0,4	7	0	0	0	0	0	0	0
-0,4--0,27	5	0	0	0	0	0	0	0
-0,27--0,14	30	0	0	0	0	0	0	0
-0,14--0,01	2646	116	0	0	0	0	0	0
-0,01-0,12	624150	461840	1827	620	0	0	0	0
0,12-0,25	939779	770102	103232	54474	600	0	0	0
0,25-0,38	40538	174940	311946	97009	8494	0	0	0
0,38-0,51	1108	27665	173468	94571	28753	10	0	0
0,51-0,64	60	2992	123919	111043	57196	775	49	32
0,64-0,77	8	205	123807	142661	87077	3144	834	179
0,77-0,9	4	6	105074	150502	113753	8568	3738	593
0,9-1,03	1	0	120078	163255	142680	20665	13162	1322
1,03-1,16	4	0	101544	198950	181618	41870	29135	2490
1,16-1,29	2	0	93306	182158	208535	72886	67052	5254
1,29-1,42	1	0	88579	165472	255496	110530	124734	11404
1,42-1,55	0	0	57174	140705	242593	150217	174929	19837
1,55-1,68	0	0	38685	86213	182804	193066	248219	39640
1,68-1,81	0	0	26431	51325	107841	240422	284992	60983
1,81-1,94	0	0	12511	30101	50089	295396	287149	102451
1,94-2,07	0	0	8345	13979	18834	321063	229594	135775
2,07-2,2	0	0	4557	6699	5300	268224	176484	180894
2,2-2,33	0	0	3398	3052	887	144237	95109	248308
2,33-2,46	0	0	3048	1057	145	43722	40569	264910
2,46-2,59	0	0	2025	332	18	6600	13540	290684
2,59-2,72	0	0	2001	104	5	463	4862	210930
2,72-2,85	0	0	1377	24	0	17	1259	117672
2,85-2,98	0	0	1200	6	0	0	328	44834
2,98-3,11	0	0	1081	0	0	1	83	8772
3,11-3,24	0	0	764	0	0	0	17	1709
3,24-3,37	0	0	641	0	0	0	4	198
3,37-3,5	0	0	427	0	0	0	0	15
3,5-3,63	0	0	302	0	0	0	0	0
3,63-3,76	0	0	219	0	0	0	0	0
3,76-3,89	0	0	112	0	0	0	0	0
3,89-4,02	0	0	61	0	0	0	0	0
4,02-4,15	0	0	30	0	0	0	0	0
4,15-4,28	0	0	11	0	0	0	0	0
4,28-4,41	0	0	2	0	0	0	0	0
4,41-4,54	0	0	5	0	0	0	0	0

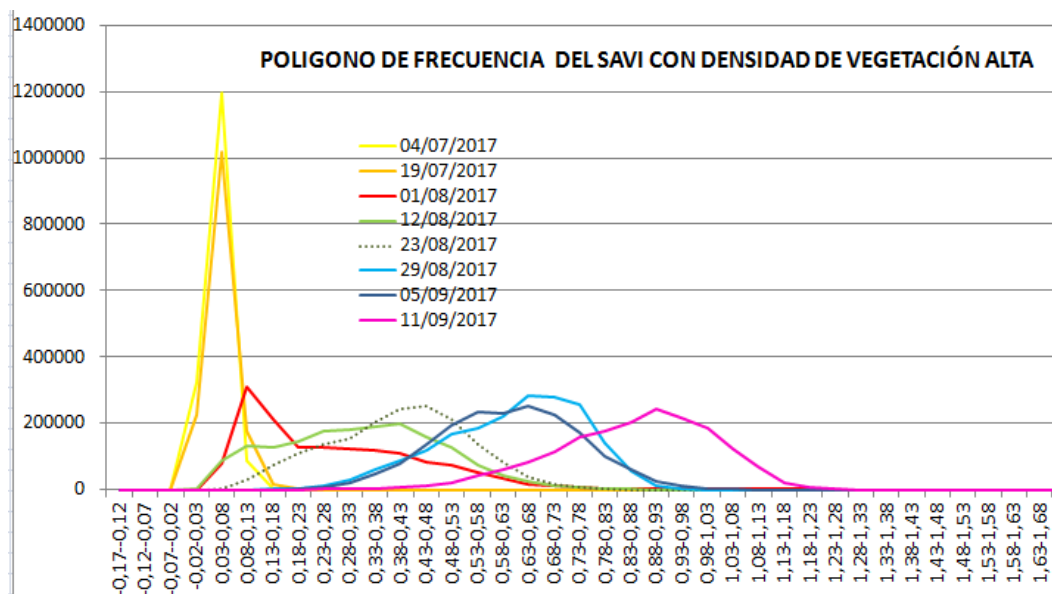


Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,25--0,16	7	0	0	0	0	0	0	0
-0,16--0,11	4	0	0	0	0	0	0	0
-0,11--0,04	145	0	0	0	0	0	0	0
-0,04--0,03	79705	17010	35	3	0	0	0	0
0,03--0,1	1290438	984671	22571	28494	211	0	0	0
0,1--0,17	230729	376799	249611	107093	8592	0	0	0
0,17--0,24	6997	53654	247997	105629	31612	24	0	0
0,24--0,31	267	5356	153609	120875	67947	887	130	40
0,31--0,38	29	360	107069	139823	92005	4092	1049	239
0,38--0,45	7	16	116556	157380	114872	10385	4761	662
0,45--0,52	3	0	114292	175613	153595	23479	15400	1480
0,52--0,59	1	0	112004	186947	177411	45185	35701	2702
0,59--0,66	4	0	103492	184343	233670	81345	72181	5487
0,66--0,73	2	0	76751	164482	235263	108774	110263	11368
0,73--0,8	1	0	71127	128555	232697	141275	176067	18679
0,8--0,87	0	0	49427	87419	160071	175130	223669	35886
0,87--0,94	0	0	31337	52675	99180	231064	253127	52440
0,94--1,01	0	0	16275	29821	54301	257495	258217	76325
1,01--1,08	0	0	11025	16219	21128	284772	216997	117810
1,08--1,15	0	0	6837	8146	7962	264671	190757	141343
1,15--1,22	0	0	4415	4051	1816	193473	125252	192897
1,22--1,29	0	0	3363	1709	310	76491	65908	207795
1,29--1,36	0	0	2268	692	58	20174	27684	228705
1,36--1,43	0	0	2200	241	15	2871	12371	250790
1,43--1,5	0	0	1819	68	2	274	4395	190667
1,5--1,57	0	0	1497	23	0	14	1342	134220
1,57--1,64	0	0	1087	10	0	0	403	55533
1,64--1,71	0	0	1102	1	0	1	121	18128
1,71--1,78	0	0	878	0	0	0	37	4657
1,78--1,85	0	0	718	0	0	0	7	874
1,85--1,92	0	0	565	0	0	0	3	146
1,92--1,99	0	0	364	0	0	0	0	13
1,99--2,06	0	0	322	0	0	0	0	0
2,06--2,13	0	0	238	0	0	0	0	0
2,13--2,2	0	0	145	0	0	0	0	0
2,2--2,27	0	0	111	0	0	0	0	0
2,27--2,34	0	0	37	0	0	0	0	0
2,34--2,41	0	0	24	0	0	0	0	0
2,41--2,48	0	0	10	0	0	0	0	0
2,48--2,55	0	0	4	0	0	0	0	0

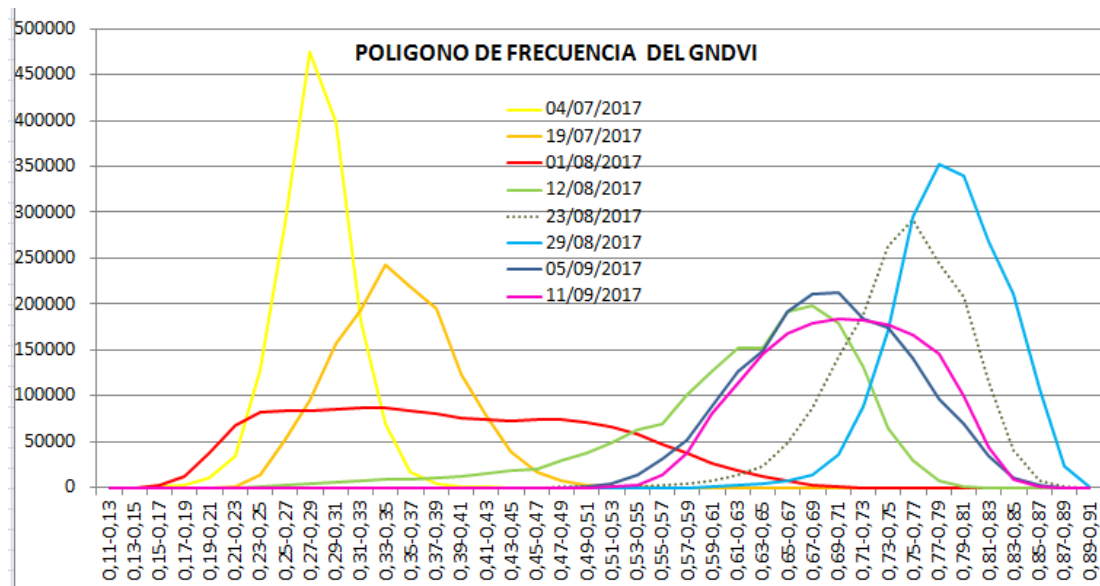


Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,17--0,12	6	0	0	0	0	0	0	0
-0,12--0,07	6	0	0	0	0	0	0	0
-0,07--0,00	305	3	0	0	0	0	0	0
-0,02--0,03	322587	224352	159	812	0	0	0	0
0,03--0,08	1194185	1019240	77792	89720	3131	0	0	0
0,08--0,13	88797	176923	308320	131033	30842	12	0	0
0,13--0,18	2290	16434	213358	128635	72108	965	140	40
0,18--0,23	131	881	127290	146015	107917	4420	1326	248
0,23--0,28	16	33	129085	178334	135328	13721	6472	842
0,28--0,33	5	0	123410	181817	152582	29696	19921	1638
0,33--0,38	2	0	119833	190662	205016	60238	45396	3245
0,38--0,43	4	0	110909	199921	242553	88861	78740	7512
0,43--0,48	2	0	82614	156596	250383	120286	138137	12702
0,48--0,53	2	0	75658	126736	210532	165715	193512	22623
0,53--0,58	0	0	52493	74249	135252	186496	232583	41968
0,58--0,63	0	0	32942	44055	84490	222840	229446	59783
0,63--0,68	0	0	16920	26539	39996	283365	250079	84446
0,68--0,73	0	0	11528	12851	16050	276944	224397	113459
0,73--0,78	0	0	7061	6665	5176	255265	172010	159625
0,78--0,83	0	0	4556	3459	1142	140908	101179	175831
0,83--0,88	0	0	2990	1358	173	56431	59877	201959
0,88--0,93	0	0	2745	546	34	14034	26727	241860
0,93--0,98	0	0	2242	223	12	1532	10448	216526
0,98--1,03	0	0	1830	54	0	140	3551	183604
1,03--1,08	0	0	1329	22	1	6	1319	124588
1,08--1,13	0	0	1280	9	0	0	408	68248
1,13--1,18	0	0	1116	1	0	1	128	20972
1,18--1,23	0	0	942	0	0	0	35	5556
1,23--1,28	0	0	633	0	0	0	6	1363
1,28--1,33	0	0	640	0	0	0	5	219
1,33--1,38	0	0	454	0	0	0	0	27
1,38--1,43	0	0	358	0	0	0	0	2
1,43--1,48	0	0	239	0	0	0	0	0
1,48--1,53	0	0	177	0	0	0	0	0
1,53--1,58	0	0	132	0	0	0	0	0
1,58--1,63	0	0	86	0	0	0	0	0
1,63--1,68	0	0	28	0	0	0	0	0
1,68--1,73	0	0	21	0	0	0	0	0
1,73--1,78	0	0	9	0	0	0	0	0
1,78--1,83	0	0	3	0	0	0	0	0



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

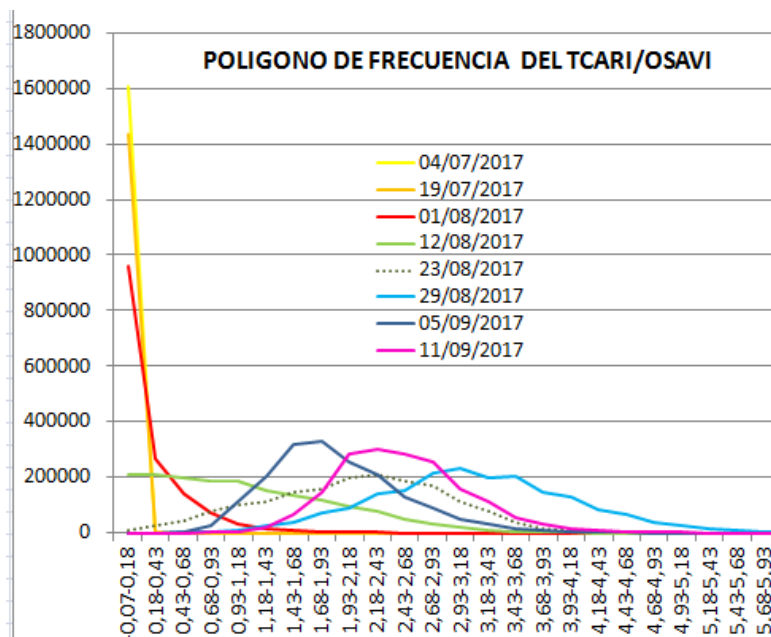
Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
0,11-0,13	10	0	14	0	0	0	0	0
0,13-0,15	98	0	235	0	0	0	0	0
0,15-0,17	472	0	2708	0	0	0	0	0
0,17-0,19	2147	6	11915	7	0	0	0	0
0,19-0,21	10334	163	37826	18	0	0	0	0
0,21-0,23	34758	1641	68515	94	0	0	0	0
0,23-0,25	127815	13181	82821	522	0	0	0	0
0,25-0,27	286522	51199	83577	2224	0	0	0	0
0,27-0,29	474180	94210	83024	3766	0	0	0	0
0,29-0,31	399002	157600	84523	5908	0	0	0	0
0,31-0,33	181776	193893	86780	7650	0	0	0	0
0,33-0,35	68922	242671	87264	9080	0	0	0	0
0,35-0,37	16222	218093	84435	8693	0	0	0	0
0,37-0,39	4575	195517	80165	10706	4	0	0	0
0,39-0,41	1080	123261	76006	12831	32	0	0	0
0,41-0,43	307	79068	73973	15514	65	0	0	0
0,43-0,45	84	39338	73255	18919	95	0	0	0
0,45-0,47	17	16624	74026	20886	160	0	24	0
0,47-0,49	5	7496	73395	29586	320	0	209	2
0,49-0,51	0	2559	70754	38069	470	0	1288	31
0,51-0,53	5	938	65594	48584	905	2	4309	326
0,53-0,55	5	282	57882	62832	1385	6	13714	2845
0,55-0,57	2	96	47608	70154	2047	45	31111	13048
0,57-0,59	2	26	36839	101123	3817	231	51530	37079
0,59-0,61	0	3	26638	126781	7391	642	88563	80558
0,61-0,63	1	1	18449	152360	14437	1858	127137	114106
0,63-0,65	1	0	11800	151870	23828	4237	148504	145723
0,65-0,67	0	0	6929	191249	47988	7538	192177	167479
0,67-0,69	0	0	3060	197701	86356	13541	211417	179326
0,69-0,71	0	0	947	179736	142952	35242	213134	183492
0,71-0,73	0	0	205	131332	188041	88838	184027	181609
0,73-0,75	0	0	24	64299	263285	171172	174731	177668
0,75-0,77	0	0	1	29436	291935	294795	141129	166686
0,77-0,79	0	0	0	7367	244863	351675	96857	145011
0,79-0,81	0	0	0	964	208272	340101	69421	99677
0,81-0,83	0	0	0	49	115296	268585	34303	43915
0,83-0,85	0	0	0	2	40514	210676	10259	9642
0,85-0,87	0	0	0	0	7290	106894	1919	660
0,87-0,89	0	0	0	0	943	24063	79	4
0,89-0,91	0	0	0	0	27	1723	0	0





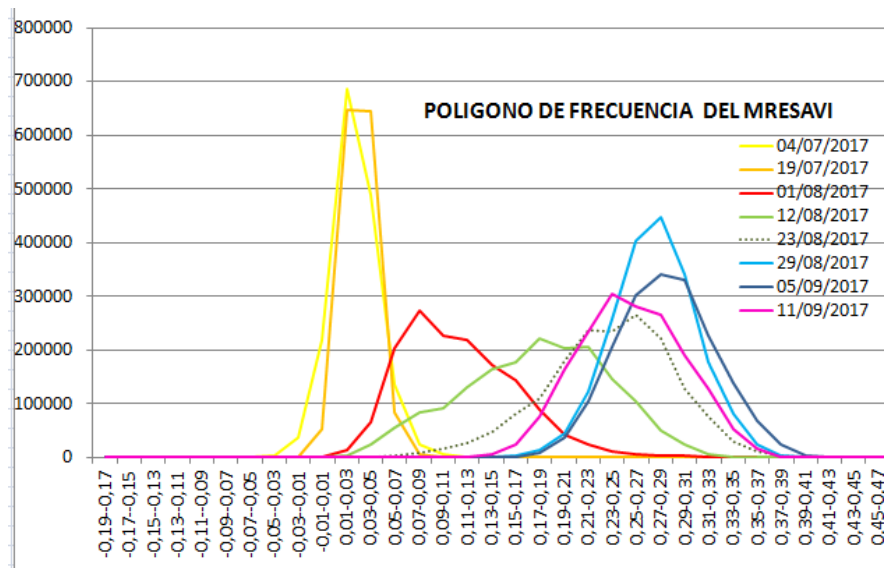
Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,07-0,18	1608344	1436035	958130	207603	7602	0	0	0
0,18-0,43	0	1805	269272	206977	26192	451	283	22
0,43-0,68	0	25	142054	197881	45564	2339	5698	297
0,68-0,93	0	1	73410	188635	77753	6379	29476	1939
0,93-1,18	0	0	33751	188810	103419	11554	112598	5804
1,18-1,43	0	0	17486	154419	113425	25812	204443	18249
1,43-1,68	0	0	8201	135208	147226	38900	316063	66027
1,68-1,93	0	0	3994	115809	156661	72056	332674	147535
1,93-2,18	0	0	2265	94914	196282	89157	255660	285563
2,18-2,43	0	0	1260	79313	210197	141972	211678	301116
2,43-2,68	0	0	682	51854	184130	155425	127640	281601
2,68-2,93	0	0	320	34428	169616	215995	88937	253347
2,93-3,18	0	0	186	20916	111344	233904	47659	158785
3,18-3,43	0	0	87	11804	75617	195724	30093	111535
3,43-3,68	0	0	56	6487	38983	202068	16104	54859
3,68-3,93	0	0	21	2888	16570	144360	7942	30014
3,93-4,18	0	0	5	1377	7741	129959	4704	16793
4,18-4,43	0	0	5	583	2696	82590	2103	7343
4,43-4,68	0	0	2	249	1133	67280	1179	4017
4,68-4,93	0	0	0	97	372	38198	497	1885
4,93-5,18	0	0	0	37	131	28935	242	1001
5,18-5,43	0	0	0	19	50	17269	98	592
5,43-5,68	0	0	0	3	9	8777	41	255
5,68-5,93	0	0	0	1	4	5980	24	156
5,93-6,18	0	0	0	0	1	2868	3	85
6,18-6,43	0	0	0	0	0	1907	2	43
6,43-6,68	0	0	0	0	0	884	0	10
6,68-6,93	0	0	0	0	0	533	1	10
6,93-7,18	0	0	0	0	0	263	0	1
7,18-7,43	0	0	0	0	0	151	0	0
7,43-7,68	0	0	0	0	0	81	0	0
7,68-7,93	0	0	0	0	0	50	0	2
7,93-8,18	0	0	0	0	0	22	0	0
8,18-8,43	0	0	0	0	0	12	0	0
8,43-8,68	0	0	0	0	0	9	0	0
8,68-8,93	0	0	0	0	0	2	0	0
8,93-9,18	0	0	0	0	0	3	0	0
9,18-9,43	0	0	0	0	0	1	0	0
9,43-9,68	0	0	0	0	0	0	0	0
9,68-9,93	0	0	0	0	0	1	0	0

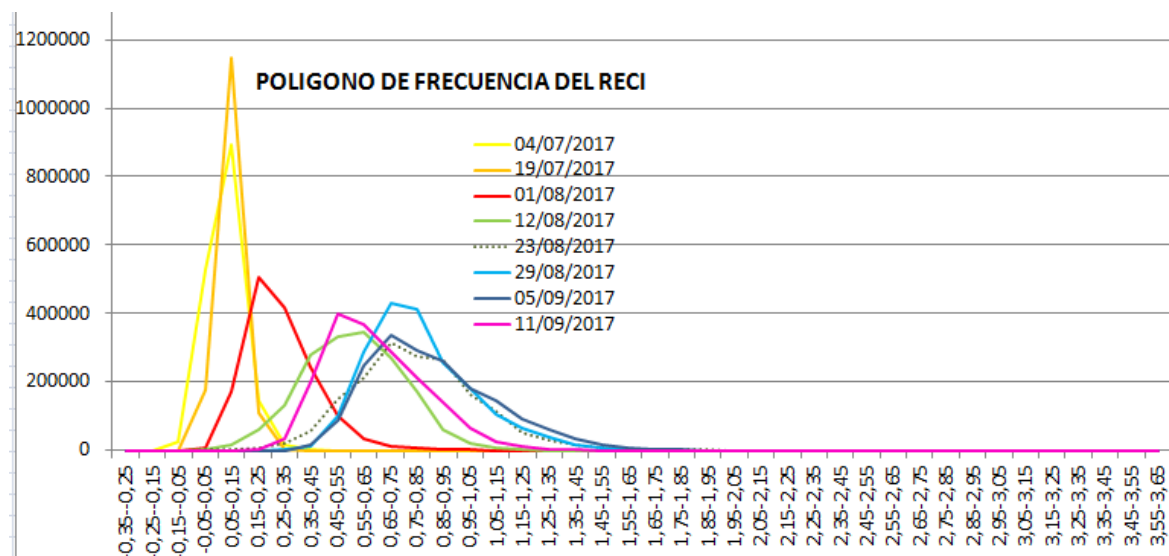


Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,19--0,17	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,17--0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,15--0,13	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,13--0,11	4	0	0	7	1	0	0	0
-0,11--0,09	11	0	0	9	3	0	0	0
-0,09--0,07	65	0	0	41	4	0	0	0
-0,07--0,05	500	1	0	64	12	0	0	0
-0,05--0,03	4392	16	8	184	52	0	0	0
-0,03--0,01	38340	893	202	454	131	0	0	0
-0,01-0,01	219880	53569	1994	1561	308	0	0	0
0,01-0,03	686428	646904	15280	4862	964	0	0	0
0,03-0,05	490152	645515	67209	23751	2160	0	0	0
0,05-0,07	137040	85463	204558	56430	4235	0	0	5
0,07-0,09	24903	5182	273858	83398	9683	1	0	33
0,09-0,11	5481	309	227654	92319	17793	14	5	176
0,11-0,13	915	14	219612	129845	25890	101	25	964
0,13-0,15	163	0	171650	164268	48123	762	240	6519
0,15-0,17	36	0	144983	177003	80399	3853	1614	23814
0,17-0,19	6	0	88596	220742	109302	15100	8728	76532
0,19-0,21	2	0	41913	203854	180367	44340	36548	165042
0,21-0,23	0	0	23640	207270	236047	123241	103706	235429
0,23-0,25	5	0	11219	147347	234920	257823	206396	303932
0,25-0,27	2	0	6339	105372	266591	402526	303121	282018
0,27-0,29	2	0	3725	49773	221302	446508	342394	266196
0,29-0,31	1	0	2585	23244	129135	340012	331096	190433
0,31-0,33	3	0	2426	6700	76548	177305	226546	127090
0,33-0,35	3	0	1792	1625	30692	82486	138172	52008
0,35-0,37	3	0	1207	182	10826	23443	67649	16119
0,37-0,39	1	0	577	6	3780	3962	23966	2376
0,39-0,41	2	0	143	0	1854	372	5045	191
0,41-0,43	1	0	15	1	891	23	568	9
0,43-0,45	2	0	2	0	353	4	22	1
0,45-0,47	1	0	0	0	223	0	1	0
0,47-0,49	0	0	0	0	85	0	0	0
0,49-0,51	0	0	0	0	21	0	0	0
0,51-0,53	0	0	0	0	16	0	0	0
0,53-0,55	0	0	0	0	7	0	0	0
0,55-0,57	0	0	0	0	0	0	0	0
0,57-0,59	0	0	0	0	0	0	0	0
0,59-0,61	0	0	0	0	0	0	0	0

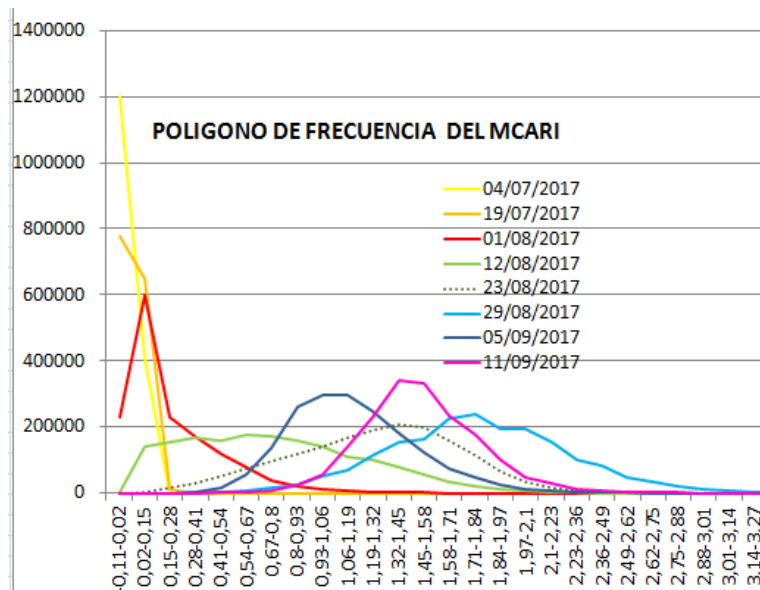


Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,35--0,25	6	0	0	34	4	0	0	0
-0,25--0,15	426	2	0	134	20	0	0	0
-0,15--0,05	24245	622	67	520	139	0	0	0
-0,05--0,05	526517	176855	8652	3098	686	0	0	0
0,05--0,15	891671	1148422	172933	16472	1988	0	0	9
0,15--0,25	144193	109662	505629	62801	7321	12	12	1010
0,25--0,35	18289	2238	416395	133453	20099	1149	551	32935
0,35--0,45	2491	62	244449	277250	54486	13694	14305	199233
0,45--0,55	418	3	101656	332662	148451	101177	89166	398499
0,55--0,65	58	0	35797	344221	213587	287956	248523	367884
0,65--0,75	11	0	13995	268741	314464	431481	338954	289174
0,75--0,85	2	0	6505	171465	272598	410770	294124	211778
0,85--0,95	5	0	3219	61101	266957	255684	260972	141680
0,95--1,05	2	0	1359	20621	162268	180893	182816	65828
1,05--1,15	3	0	426	6100	114036	103763	144450	27203
1,15--1,25	2	0	92	1169	52257	63639	90247	9838
1,25--1,35	2	0	12	311	27913	38388	62149	2854
1,35--1,45	0	0	1	88	16564	18121	35952	748
1,45--1,55	1	0	0	41	7522	9112	17932	157
1,55--1,65	2	0	0	17	4927	3582	9578	37
1,65--1,75	0	0	0	3	2359	1436	3784	19
1,75--1,85	0	0	0	4	1623	652	1608	1
1,85--1,95	0	0	0	2	860	226	520	0
1,95--2,05	0	0	0	2	520	100	133	0
2,05--2,15	0	0	0	0	408	23	48	0
2,15--2,25	0	0	0	0	221	13	12	0
2,25--2,35	0	0	0	0	169	4	4	0
2,35--2,45	0	0	0	1	87	1	2	0
2,45--2,55	0	0	0	0	75	0	0	0
2,55--2,65	0	0	0	0	29	0	0	0
2,65--2,75	0	0	0	0	29	0	0	0
2,75--2,85	0	0	0	0	19	0	0	0
2,85--2,95	0	0	0	0	6	0	0	0
2,95--3,05	0	0	0	0	10	0	0	0
3,05--3,15	0	0	0	0	7	0	0	0
3,15--3,25	0	0	0	1	4	0	0	0
3,25--3,35	0	0	0	0	3	0	0	0
3,35--3,45	0	0	0	0	1	0	0	0
3,45--3,55	0	0	0	0	0	0	0	0
3,55--3,65	0	0	0	0	1	0	0	0

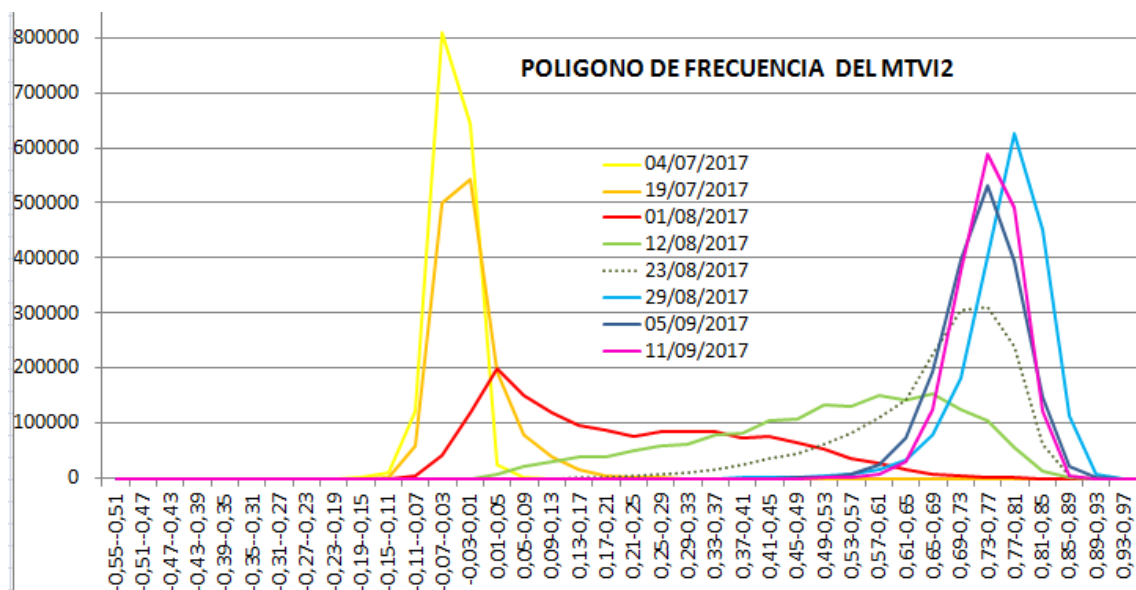


Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,11-0,02	1199995	775528	232192	2992	0	0	0	0
0,02-0,15	408305	647629	599149	142812	4891	0	0	0
0,15-0,28	14	14013	231960	154512	15063	212	167	4
0,28-0,41	0	653	170714	167383	28096	1425	2411	92
0,41-0,54	0	39	117281	159560	50030	3228	14908	700
0,54-0,67	0	4	77820	177303	74307	8380	56521	2363
0,67-0,8	0	0	39140	170657	97403	17817	138530	7867
0,8-0,93	0	0	20652	158222	118804	27254	260999	24020
0,93-1,06	0	0	10324	141676	140873	53205	297893	54492
1,06-1,19	0	0	5676	111592	166940	69256	298081	140124
1,19-1,32	0	0	2781	101877	191940	112804	249252	228594
1,32-1,45	0	0	1575	78248	205681	152789	183020	343022
1,45-1,58	0	0	883	55554	197181	164290	121655	333844
1,58-1,71	0	0	513	35671	160789	223509	75232	232422
1,71-1,84	0	0	254	19455	112910	237065	47801	177075
1,84-1,97	0	0	137	11834	67251	193077	23202	102089
1,97-2,1	0	0	83	6017	34595	195756	12605	48773
2,1-2,23	0	0	33	2831	16655	154415	6780	28197
2,23-2,36	0	0	10	1201	5839	98766	3558	12251
2,36-2,49	0	0	7	565	2232	82026	1742	6760
2,49-2,62	0	0	2	217	790	46486	835	3150
2,62-2,75	0	0	1	79	292	34730	404	1472
2,75-2,88	0	0	0	39	116	20729	123	807
2,88-3,01	0	0	0	13	30	10336	71	378
3,01-3,14	0	0	0	2	10	6855	36	213
3,14-3,27	0	0	0	0	1	3649	10	107
3,27-3,4	0	0	0	0	1	1704	4	42
3,4-3,53	0	0	0	0	0	1057	1	15
3,53-3,66	0	0	0	0	0	522	0	9
3,66-3,79	0	0	0	0	0	240	0	1
3,79-3,92	0	0	0	0	0	133	1	1
3,92-4,05	0	0	0	0	0	63	0	0
4,05-4,18	0	0	0	0	0	50	0	2
4,18-4,31	0	0	0	0	0	19	0	0
4,31-4,44	0	0	0	0	0	11	0	0
4,44-4,57	0	0	0	0	0	9	0	0
4,57-4,7	0	0	0	0	0	1	0	0
4,7-4,83	0	0	0	0	0	2	0	0
4,83-4,96	0	0	0	0	0	0	0	0
4,96-5,09	0	0	0	0	0	0	0	0

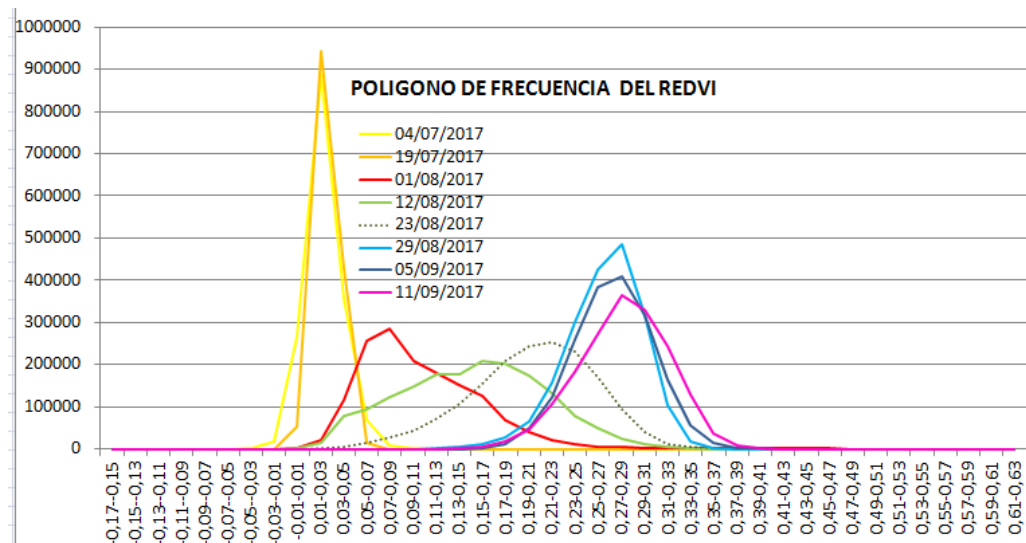


Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,55--0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,51--0,47	3	0	0	0	0	0	0	0
-0,47--0,43	3	0	0	0	0	0	0	0
-0,43--0,39	6	0	0	0	0	0	0	0
-0,39--0,35	4	0	0	0	0	0	0	0
-0,35--0,31	3	0	0	0	0	0	0	0
-0,31--0,27	9	0	0	0	0	0	0	0
-0,27--0,23	13	0	0	0	0	0	0	0
-0,23--0,19	60	0	0	0	0	0	0	0
-0,19--0,15	690	29	0	0	0	0	0	0
-0,15--0,11	10112	1493	216	0	0	0	0	0
-0,11--0,07	120718	59690	5126	0	0	0	0	0
-0,07--0,03	809046	499874	41095	10	0	0	0	0
-0,03--0,01	641807	543110	119536	425	0	0	0	0
0,01--0,05	25355	192441	199025	8811	0	0	0	0
0,05--0,09	495	80204	150590	22480	14	0	0	0
0,09--0,13	15	38126	117814	29376	277	0	0	0
0,13--0,17	1	15390	96099	39156	1225	0	0	0
0,17--0,21	2	5278	87712	40392	2509	0	0	0
0,21--0,25	2	1601	76341	51076	3738	0	0	0
0,25--0,29	0	484	84589	59077	6832	0	0	0
0,29--0,33	0	124	85261	61733	11279	57	0	1
0,33--0,37	0	20	84193	79070	15882	145	0	15
0,37--0,41	0	1	73577	82945	24464	505	8	38
0,41--0,45	0	1	75829	104943	34905	954	117	101
0,45--0,49	0	0	65862	108501	43549	2189	613	380
0,49--0,53	0	0	53348	132511	62059	3920	1977	951
0,53--0,57	0	0	35945	131246	82603	7525	7371	2717
0,57--0,61	0	0	26669	151976	111973	15181	24507	7771
0,61--0,65	0	0	15454	142501	141821	32515	72811	29419
0,65--0,69	0	0	8145	152618	224550	79669	193164	124026
0,69--0,73	0	0	4193	125196	306651	180953	397792	376735
0,73--0,77	0	0	2747	104794	310577	403808	530355	587241
0,77--0,81	0	0	1385	54948	239455	625015	395402	490442
0,81--0,85	0	0	395	14672	63202	450186	148097	122887
0,85--0,89	0	0	38	1835	4846	112673	22972	6071
0,89--0,93	0	0	3	20	304	6514	654	87
0,93--0,97	0	0	0	0	3	62	2	2
0,97--1,01	0	0	0	0	0	0	0	2
1,01--1,05	0	0	0	0	0	0	0	0



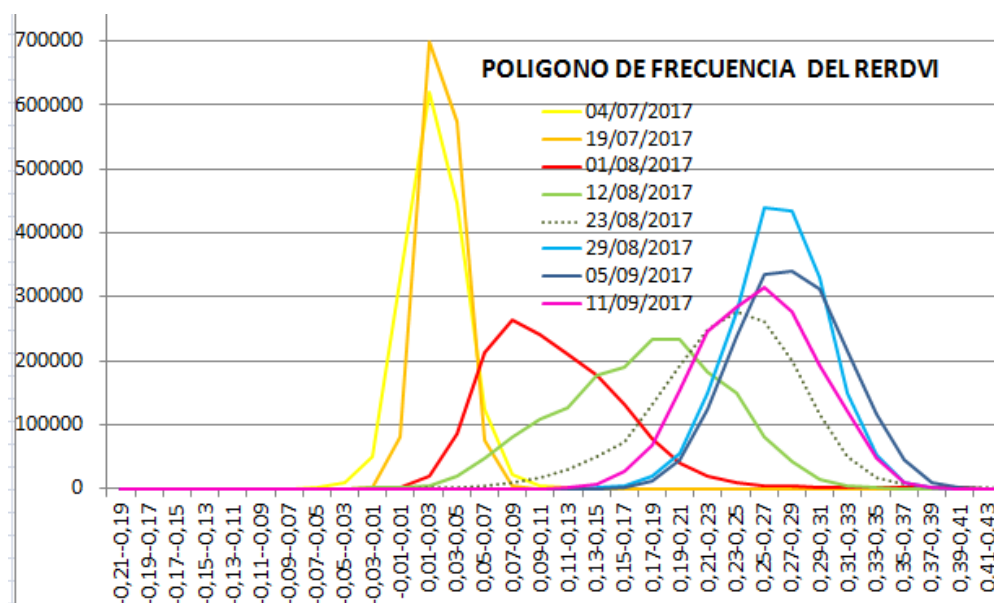
Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,17--0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,15--0,13	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,13--0,11	0	0	0	1	0	0	0	0
-0,11--0,09	6	0	0	1	0	0	0	0
-0,09--0,07	14	0	0	11	3	0	0	0
-0,07--0,05	141	0	0	41	5	0	0	0
-0,05--0,03	1271	4	2	108	17	0	0	0
-0,03--0,01	18766	167	83	336	101	0	0	0
-0,01-0,01	266002	52485	2193	1846	382	0	0	0
0,01-0,03	889123	942070	20144	14317	1553	0	0	0
0,03-0,05	355871	427256	115482	77349	5197	0	0	0
0,05-0,07	68984	15468	256782	95278	13871	1	0	4
0,07-0,09	7242	409	285794	121790	27037	26	0	20
0,09-0,11	781	7	207317	147863	44628	264	2	108
0,11-0,13	91	0	178677	175815	71377	1392	26	449
0,13-0,15	20	0	151421	178002	108283	3755	327	1627
0,15-0,17	2	0	126812	207920	156055	10770	2555	6557
0,17-0,19	4	0	70199	203104	208494	28744	12201	18714
0,19-0,21	0	0	39537	174794	244216	66962	48373	45872
0,21-0,23	1	0	21028	131436	253656	158198	121531	106568
0,23-0,25	4	0	12408	78982	231352	301266	260950	181788
0,25-0,27	3	0	6075	49917	171051	424743	383481	273391
0,27-0,29	2	0	3764	24320	95429	486050	409357	365347
0,29-0,31	1	0	2733	10980	40269	317165	316302	329669
0,31-0,33	2	0	2294	4138	13076	103214	165076	242409
0,33-0,35	2	0	1669	1590	4000	18070	56052	130674
0,35-0,37	3	0	1388	338	1518	1217	16076	37405
0,37-0,39	1	0	1299	34	670	39	2920	7433
0,39-0,41	0	0	1104	1	315	0	524	769
0,41-0,43	3	0	1055	0	102	0	78	78
0,43-0,45	1	0	693	0	43	0	9	5
0,45-0,47	2	0	530	0	14	0	1	0
0,47-0,49	1	0	335	0	4	0	1	0
0,49-0,51	0	0	226	0	0	0	0	0
0,51-0,53	0	0	98	0	0	0	0	0
0,53-0,55	0	0	32	0	0	0	0	0
0,55-0,57	0	0	11	0	0	0	0	0
0,57-0,59	0	0	2	0	0	0	0	0
0,59-0,61	0	0	0	0	0	0	0	0
0,61-0,63	0	0	0	0	0	0	0	0



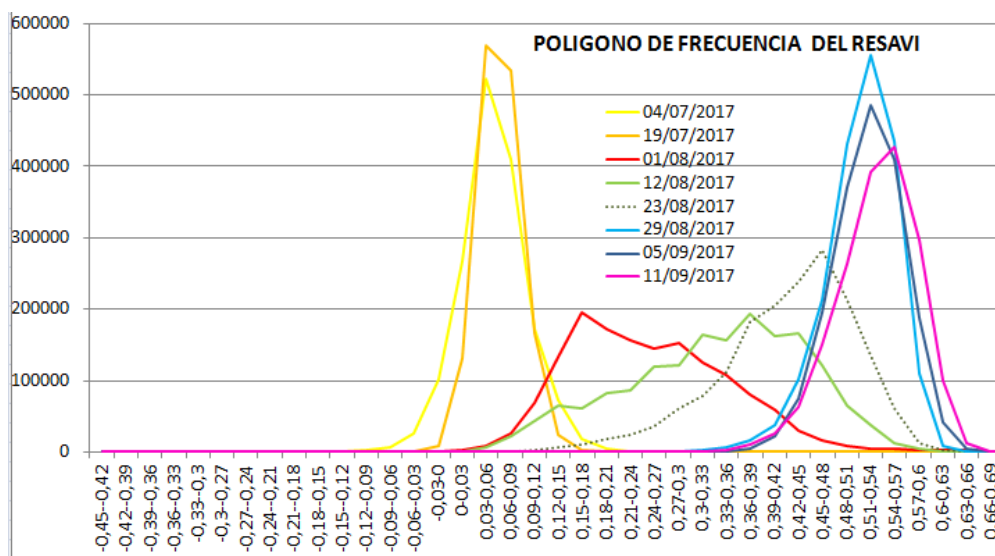


Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,21--0,19	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,19--0,17	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,17--0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,15--0,13	1	0	0	2	0	0	0	0
-0,13--0,11	7	0	0	9	4	0	0	0
-0,11--0,09	14	0	0	30	1	0	0	0
-0,09--0,07	116	0	0	40	8	0	0	0
-0,07--0,05	1038	2	0	101	18	0	0	0
-0,05--0,03	8536	64	18	225	74	0	0	0
-0,03--0,01	50311	2139	276	559	121	0	0	0
-0,01--0,01	326823	81798	2914	1755	361	0	0	0
0,01--0,03	620644	699595	18530	4713	905	0	0	0
0,03--0,05	447010	574810	86148	19534	1858	0	0	0
0,05--0,07	124236	74665	213281	47005	4160	0	0	6
0,07--0,09	23180	4474	264641	80226	8444	3	1	43
0,09--0,11	5319	304	240462	107877	16223	18	4	226
0,11--0,13	849	15	209760	126068	29112	134	49	1121
0,13--0,15	189	0	177241	176767	50810	1006	356	6737
0,15--0,17	39	0	130950	190352	73109	4501	1942	26221
0,17--0,19	6	0	78253	234407	131619	18809	11010	68195
0,19--0,21	0	0	40082	232558	193694	55476	44939	153761
0,21--0,23	0	0	20303	183522	249352	149755	123300	246618
0,23--0,25	5	0	10408	149800	276052	276658	237834	283131
0,25--0,27	2	0	5429	80143	262147	433261	336158	313364
0,27--0,29	2	0	3372	43362	200024	433392	340016	276084
0,29--0,31	4	0	2470	15189	115579	330190	313055	193024
0,31--0,33	1	0	2154	5075	50373	149354	215015	122168
0,33--0,35	4	0	1719	916	18093	52834	115543	46781
0,35--0,37	1	0	1382	73	5743	9555	45053	10045
0,37--0,39	1	0	816	3	2741	882	10308	1282
0,39--0,41	2	0	410	1	1202	46	1185	76
0,41--0,43	1	0	141	0	500	2	70	3
0,43--0,45	2	0	23	0	249	0	4	1
0,45--0,47	1	0	4	0	101	0	0	0
0,47--0,49	0	0	0	0	23	0	0	0
0,49--0,51	0	0	0	0	15	0	0	0
0,51--0,53	0	0	0	0	3	0	0	0
0,53--0,55	0	0	0	0	0	0	0	0
0,55--0,57	0	0	0	0	0	0	0	0
0,57--0,59	0	0	0	0	0	0	0	0



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
-0,45--0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,42--0,3	2	0	0	0	0	0	0	0
-0,39--0,3	4	0	0	0	0	0	0	0
-0,36--0,3	1	0	0	2	0	0	0	0
-0,33--0,3	4	0	0	2	1	0	0	0
-0,3--0,27	5	0	0	6	2	0	0	0
-0,27--0,2	11	0	0	7	1	0	0	0
-0,24--0,2	42	0	0	16	1	0	0	0
-0,21--0,18	85	0	0	20	3	0	0	0
-0,18--0,15	215	0	0	29	3	0	0	0
-0,15--0,12	680	1	1	45	11	0	0	0
-0,12--0,09	2210	4	5	74	19	0	0	0
-0,09--0,06	6330	44	26	161	51	0	0	0
-0,06--0,03	25567	456	144	290	83	0	0	0
-0,03-0	101715	8312	597	801	158	0	0	0
0-0,03	268310	131572	2674	1655	409	0	0	0
0,03-0,06	523386	569986	8510	5822	770	0	0	0
0,06-0,09	409517	534880	25915	22986	1447	0	0	0
0,09-0,12	172363	165370	69817	44043	3628	0	0	0
0,12-0,15	73033	24092	133995	65124	6159	0	0	0
0,15-0,18	17791	2829	196199	62101	10410	1	0	4
0,18-0,21	5451	297	171482	83578	19036	9	0	9
0,21-0,24	1234	20	156370	85636	25081	78	0	42
0,24-0,27	268	3	144035	119331	35906	342	3	116
0,27-0,3	68	0	153150	121145	61943	1048	23	368
0,3-0,33	17	0	125130	163905	79558	2792	158	1009
0,33-0,36	3	0	107805	156316	112552	6187	1127	3343
0,36-0,39	5	0	81313	194058	181112	16145	5151	9870
0,39-0,42	1	0	58628	162407	206208	38628	21824	26597
0,42-0,45	0	0	29954	166342	238975	101883	74109	63401
0,45-0,48	2	0	16541	122284	284037	213385	195542	150750
0,48-0,51	5	0	9059	64748	213037	431783	371598	264611
0,51-0,54	3	0	5363	37687	134416	555644	484758	391593
0,54-0,57	1	0	3993	13437	60544	435793	409181	427634
0,57-0,6	2	0	2659	5335	12717	110320	187025	296826
0,6-0,63	5	0	2162	848	3274	7761	40837	100452
0,63-0,66	1	0	1946	69	874	77	4207	11884
0,66-0,69	3	0	1842	1	233	0	289	374
0,69-0,72	2	0	1122	0	55	0	9	4
0,72-0,75	2	0	556	0	4	0	1	0



Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes.

Intervalo	04/07/2017	19/07/2017	01/08/2017	12/08/2017	23/08/2017	29/08/2017	05/09/2017	11/09/2017
264,29-264,35	0	0	0	13	0	0	0	0
264,35-264,41	0	0	0	77	0	0	6	0
264,41-264,47	8159	1253	0	1230	45	0	24	0
264,47-264,53	223387	128157	22545	6844	914	0	29	0
264,53-264,59	1194804	1357706	680277	119136	1517	0	26	0
264,59-264,65	213335	152566	781285	310175	1122	0	30	0
264,65-264,71	10	13	95509	140417	1125	0	41	0
264,71-264,77	0	0	27130	73108	1237	0	71	0
264,77-264,83	0	0	14780	77792	1457	0	67	0
264,83-264,89	0	0	7285	82115	1863	0	78	4
264,89-264,95	0	0	3052	105355	3013	0	140	24
264,95-265,01	0	0	513	118356	5146	31	200	83
265,01-265,07	0	0	29	145379	9501	66	367	180
265,07-265,13	0	0	6	175896	17061	261	552	217
265,13-265,19	0	0	0	133673	31271	454	734	286
265,19-265,25	0	0	0	90286	49745	1447	1548	453
265,25-265,31	0	0	0	39108	75955	5079	2897	899
265,31-265,37	0	0	0	17532	112073	6918	3625	1614
265,37-265,43	0	0	0	2883	196950	14373	7031	3159
265,43-265,49	0	0	0	274	254362	26789	9997	5879
265,49-265,55	0	0	0	7	271175	37387	20012	10976
265,55-265,61	0	0	0	0	238833	61572	31430	18107
265,61-265,67	0	0	0	0	181700	86688	39806	25248
265,67-265,73	0	0	0	0	115549	113917	67598	45712
265,73-265,79	0	0	0	0	53224	148671	91297	66881
265,79-265,85	0	0	0	0	12929	227393	99130	94941
265,85-265,91	0	0	0	0	1777	285864	137814	114815
265,91-265,97	0	0	0	0	112	271026	136158	156905
265,97-266,03	0	0	0	0	0	192967	173800	184204
266,03-266,09	0	0	0	0	0	116466	189153	211441
266,09-266,15	0	0	0	0	0	37116	167437	199775
266,15-266,21	0	0	0	0	0	4916	179081	212809
266,21-266,27	0	0	0	0	0	255	135711	159437
266,27-266,33	0	0	0	0	0	0	73793	86449
266,33-266,39	0	0	0	0	0	0	46666	28883
266,39-266,45	0	0	0	0	0	0	18299	8916
266,45-266,51	0	0	0	0	0	0	4219	1278
266,51-266,57	0	0	0	0	0	0	760	71
266,57-266,63	0	0	0	0	0	0	26	10
266,63-266,69	0	0	0	0	0	0	3	0

